UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA CADENA LÁCTEA: USO TERAPÉUTICO VS PREVENTIVO EN BOVINOS Y SUS IMPLICACIONES ONE HEALTH"

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

Autor:

Acan Palag Luis Alexis

Tutora:

Alison Cristina Simancas Racines

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Acan Palag Luis Alexis, con cédula de ciudadanía No. 0605336742, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA CADENA LACTEA: USO TERAPEUTICO VS PREVENTIVO EN BOVINOS Y SUS IMPLICACIONES ONE HEALTH",** siendo Medica Veterinaria y 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, 6 de agosto del 2026

Luis Alexis Acan Palag
C.C: 0605336742
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 **ACAN PALAG LUIS ALEXIS**, identificado con cédula de ciudadanía **0605336742** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL 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. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agropecuaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA CADENA LACTEA: USO TERAPEUTICO VS PREVENTIVO EN BOVINOS Y SUS IMPLICACIONES ONE HEALTH",** 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: **"RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA CADENA LACTEA: USO TERAPEUTICO VS PREVENTIVO EN BOVINOS Y SUS IMPLICACIONES ONE HEALTH"**

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, **EL 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 **EL 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 patrimonial.

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 **EL 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 **EL 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 **EL 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 6 días del mes de agosto de 2026.

Luis Alexis Acan Palag	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA CADENA LACTEA: USO TERAPEUTICO VS PREVENTIVO EN BOVINOS Y SUS IMPLICACIONES ONE HEALTH”, de Acan Palag Luis Alexis, 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, 6 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, el postulante: Acan Palag Luis Alexis, con el título del Proyecto de Investigación: **"RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA CADENA LACTEA: USO TERAPEUTICO VS PREVENTIVO EN BOVINOS Y SUS IMPLICACIONES ONE HEALTH"**, 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, 6 de agosto del 2026

MVZ. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mtr.
C.C: 1722547278
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Cristian Santiago Jiménez Jácome, Mg.
C.C: 0501946263
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Dr. Eddian Humberto Mera Viera, Mg
CC: 0501545271
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y proporcionarme los conocimientos y herramientas necesarias para culminar esta etapa académica.

A mis padres, por su apoyo incondicional, comprensión y confianza durante todo este proceso motivándome a superar cada desafío y a no desistir de mis metas.

Finalmente, quiero agradecer a mi tutora MVZ. Alison Simancas, por impartir sus conocimientos y guiarme en este proceso los cuales fueron factores importantes para el desarrollo del proyecto.

Luis Alexis Acan Palag

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la salud para superar cada obstáculo y permitirme alcanzar una meta más en mi vida.

A mis padres, por su amor, esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional. Gracias por creer siempre en mí, por sus enseñanzas y por ser el pilar fundamental que me impulso a seguir adelante.

A mis hermanos, por acompañarme en este camino con su cariño, consejos, comprensión y constante motivación en los momentos más difíciles.

Finalmente, dedico este logro a mi familia que confiaron en mis capacidades y me alentaron a perseverar hasta alcanzar este importante objetivo.

Luis Alexis Acan Palag

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA CADENA LÁCTEA: USO TERAPÉUTICO VS PREVENTIVO EN BOVINOS Y SUS IMPLICACIONES ONE HEALTH)"

AUTOR
Acan Palag Luis Alexis

RESUMEN

La administración de medicamentos antimicrobianos en la producción lechera es necesaria para controlar enfermedades que afectan la salud, el bienestar y el desempeño productivo de los animales, principalmente la mastitis; sin embargo, su aplicación generalizada, preventiva o sin diagnóstico puede favorecer la selección de bacterias resistentes, la presencia de residuos en la leche y la circulación ambiental de genes de resistencia. La investigación tuvo como propósito sintetizar la evidencia sobre las consecuencias del empleo terapéutico y profiláctico de estos medicamentos en el manejo de la mastitis y la terapia de secado. Se caracterizaron los patrones de administración, su relación con la resistencia bacteriana, las principales rutas ambientales del resistoma y las intervenciones aplicables para disminuir estos riesgos. Se realizó una revisión bibliográfica estructurada con aproximación sistemática y síntesis narrativa, mediante búsquedas en bases científicas, repositorios académicos y portales de organismos nacionales e internacionales. Los documentos fueron seleccionados según criterios de temporalidad, idioma, pertinencia, acceso al texto completo y calidad de la fuente. La información se organizó mediante matrices de búsqueda, selección, caracterización y extracción de evidencia. Los resultados mostraron que la mastitis clínica constituye uno de los principales motivos de tratamiento y que la terapia de secado en manto aumenta la exposición del hato al administrar antibióticos a animales con y sin evidencia de infección. En contraste, la selección de vacas o cuartos mamarios mediante conteo de células somáticas, antecedentes sanitarios y diagnóstico microbiológico permite reducir tratamientos innecesarios. También se identificaron patrones de resistencia en patógenos contagiosos, ambientales y bacterias indicadoras, además de riesgos por residuos superiores a los límites permitidos. El estiércol, los purines, el suelo y el agua fueron reconocidos como rutas de circulación de bacterias resistentes y genes asociados. Entre las principales intervenciones se encontraron el cultivo bacteriológico, los protocolos veterinarios, la terapia de secado selectiva, los selladores internos de pezón, los registros sanitarios, la higiene del ordeño y el manejo adecuado de excretas. Como aporte, la revisión integra evidencia productiva, sanitaria y ambiental para orientar decisiones responsables. Su impacto se relaciona con la reducción de tratamientos generalizados, la protección de la inocuidad alimentaria y el fortalecimiento de sistemas productivos sostenibles sin comprometer la salud mamaria ni el bienestar animal.

Palabras clave: mastitis; terapia de secado selectiva; resistoma ambiental; inocuidad alimentaria; salud mamaria.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: "ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN THE DAIRY SUPPLY CHAIN: THERAPEUTIC VS PREVENTIVE USE IN CATTLE AND ITS ONE HEALTH IMPLICATIONS"

AUTHOR:
Acan Palag Luis Alexis

ABSTRACT

The administration of antimicrobial drugs in dairy production is necessary to control diseases that affect the health, welfare, and productive performance of animals, primarily mastitis; however, their widespread use—whether preventive or without a diagnosis—can promote the selection of resistant bacteria, the presence of residues in milk, and the environmental circulation of resistance genes. The purpose of this research was to synthesize the evidence on the consequences of the therapeutic and prophylactic use of these drugs in the management of mastitis and dry-off therapy. The study characterized administration patterns, their relationship to bacterial resistance, the main environmental pathways of the resistome, and applicable interventions to reduce these risks. A structured literature review was conducted using a systematic approach and narrative synthesis, through searches of scientific databases, academic repositories, and the websites of national and international organizations. Documents were selected based on criteria such as publication date, language, relevance, access to the full text, and source quality. The information was organized using matrices for searching, selecting, characterizing, and extracting evidence. The results showed that clinical mastitis is one of the main reasons for treatment and that blanket dry-off therapy increases the herd's exposure to antibiotics by administering them to animals with and without evidence of infection. In contrast, selecting cows or mammary quarters based on somatic cell count, health history, and microbiological diagnosis helps reduce unnecessary treatments. Resistance patterns were also identified in contagious and environmental pathogens and indicator bacteria, as well as risks of residue levels exceeding permitted limits. Manure, slurry, soil, and water were identified as routes of transmission for resistant bacteria and associated genes. Key interventions included bacteriological culture, veterinary protocols, selective dry-off therapy, internal teat sealants, health records, milking hygiene, and proper manure management. As a contribution, this review integrates production, health, and environmental evidence to guide responsible decision-making. Its impact relates to reducing blanket treatments, protecting food safety, and strengthening sustainable production systems without compromising udder health or animal welfare.

Keywords: mastitis; selective dry-off therapy; environmental resistome; food safety; udder health.

INDICE GENERAL

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 xi

RESUMEN xii

ABSTRACT xiii

INDICE GENERAL xiv

INDICE DE FIGURAS xxii

INDICE DE TABLAS xxii

INDICE DE ANEXOS xxiii

1. INFORMACIÓN GENERAL 1

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 2

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 4

3.1. Beneficiarios directos 4

3.2. Beneficiarios indirectos 5

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 5

5. OBJETIVOS 8

5.1.General 8

5.2.Específicos 8

6.ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS 9
Tabla 1 9
Actividades y sistemas de tareas en relación con los componentes. 9
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA 10
7.1.Enfoque One Health en la resistencia antimicrobiana de la cadena láctea 10
7.1.1.Fundamentos del enfoque One Health 10
7.1.2.Resistencia antimicrobiana como problema One Health 11
7.1.3.Interacción animal-humano-ambiente en la producción lechera 12
7.1.4.La cadena láctea como vía de conexión sanitaria 14
7.1.5.Mastitis bovina y terapia de secado como puntos críticos del uso antimicrobiano en lechería ……15
Figura 1. 16
Modelo One Health de la resistencia antimicrobiana en la cadena láctea. 16
7.2.Conceptos y definiciones fundamentales 17
7.2.1.Resistencia antimicrobiana, microbiota y resistoma 17
7.2.2.Uso terapéutico y profiláctico de antimicrobianos 18
7.2.3.Mastitis bovina como principal condición asociada al uso antimicrobiano intramamario .. 19
7.2.4.Terapia de secado en bovinos lecheros 20
7.2.5.Terapia de secado en manto y terapia de secado selectiva 21
7.2.6.Selladores internos de pezón como alternativa no antimicrobiana 23
7.2.7.Métricas para cuantificar el uso de antimicrobianos 24
Tabla 2. 25
Definiciones operativas para la revisión. 25
7.3.Patrones de uso antimicrobianos en mastitis y terapia de secado 26
7.3.1.Antimicrobianos utilizados en mastitis clínica 26

7.3.2.Antimicrobianos utilizados en mastitis subclínica 27
7.3.3.Antimicrobianos utilizados durante la terapia de secado 27
7.3.4.Vías de administración en bovinos lecheros 28
7.3.4.1.Administración intramamaria 28
7.3.4.2.Administración sistemática 28
7.3.5.Uso empírico y uso basado en diagnostico microbiológico 28
7.3.6.Diferencia entre indicación terapéutica y profiláctica 29
7.3.7.Factores de finca que condicionan el uso antimicrobiano 29
7.3.7.1.Registros sanitarios y productivos 29
7.3.7.2.Acceso a cultivo bacteriológico 29
7.3.7.3.Conteo de células somáticas 30
7.3.7.4.Tamaño de hato y sistema de manejo 30
7.3.7.5.Asesoría veterinaria y cumplimiento de protocolos 30
Tabla 3. 31
Patrones de uso antimicrobiano en mastitis y terapia de secado 31
7.4.Resistencia antimicrobiana en patógenos de mastitis y bacterias indicadoras 31
7.4.1.Patógenos contagiosos de mastitis 31
7.4.1.1.Staphylococcus aureus 32
7.4.1.2.Streptococcus agalactiae 32
7.4.1.3.Mycoplasma bovis 33
7.4.1.4.Corynebacterium bovis 33
7.4.2.Patógenos ambientales de mastitis 34
7.4.2.1.Escherichia coli 34
7.4.2.2.Streptociccus uberis 35
7.4.2.3.Klebsiella spp. 35

7.4.3.Bacterias indicadoras de resistencia antimicrobiana 36
7.4.3.1.Eschericha coli comensal 36
7.4.3.2.Enterococcus spp. 36
7.4.3.3.Staphylococcus coagulasa negativos 37
7.4.4.Fenotipo de resistencia antimicrobiana 37
7.4.5.Genes de resistencia antimicrobiana 39
7.4.6.Asociación entre intensidad de uso antimicrobiano y resistencia de nivel de hato 40
Tabla 4. 41
Bacterias de interés para el análisis de resistencia antimicrobiana en lechería 41
7.5.Evidencia sobre uso terapéutico, uso preventivo y resistencia antimicrobiana 42
7.5.1.Uso terapéutico en mastitis clínica y patrones de resistencia 42
7.5.2.Tratamiento de mastitis subclínica y presión de selección 43
7.5.3.Terapia de secado en manto y resistencia antimicrobiana 44
7.5.4.Terapia de secado selectiva y reducción del uso antimicrobiana 44
7.5.5.Comparación entre estrategias terapéuticas y profilácticas 45
7.5.6.Limitaciones metodológicas de la evidencia disponible 46
Tabla 5. 47
Comparación entre estrategias terapéuticas y preventivas utilizadas en bovinos lecheros 47
7.6.Residuos de antimicrobianos en leche e inocuidad alimentaria 48
7.6.1.Residuos antimicrobianos en leche cruda 48
7.6.2.Límites máximos de residuos 48
7.6.3.Tiempos de retiro en vacas tratadas 49
7.6.4.Riesgos para salud pública y procesamiento lácteo 50
7.6.5.Rechazo de leche en tanque y pérdidas económicas 50
7.6.6.Métodos de detección de residuos antimicrobianos 51

7.6.6.1.Pruebas rápidas de tamizaje 51

7.6.6.2.Métodos confirmatorios 52

7.6.6.3.Cromatografía liquida acoplada a espectrometría de masa en tándem 52

Tabla 6. 53

Puntos críticos para el control de residuos antimicrobianos en la cadena láctea 53

7.7.Ambiente, estiércol y resistoma en sistemas lecheros 55

7.7.1.Eliminación de antimicrobianos, bacterias resistentes y ARGs 55

7.7.2.Estiércol y purines como reservorio de resistencia antimicrobiana 55

7.7.3.Suelo agrícola y transferencia de genes de resistencia 56

7.7.4.Agua superficial y subterránea como vías de diseminación 57

7.7.5.Persistencia ambiental del resistoma 58

Figura 2. 59

Vías ambientales de diseminación de la resistencia antimicrobiana asociada con la aplicación de estiércol en suelos agrícolas. 59

Tabla 7. 59

Vías ambientales de diseminación de la resistencia antimicrobiana en sistemas lecheros 59

7.8.Intervenciones de stewardship antimicrobiano en mastitis y terapia de secado 60

7.8.1.Stewardship antimicrobiano en la práctica agropecuaria 61

7.8.2.Diagnostico microbiológico de mastitis 61

7.8.3.Uso prudente de antimicrobianos intramamarios 62

7.8.4.Terapia de secado selectiva 63

7.8.5.Selladores internos de pezón como estrategia no antimicrobiana 63

7.8.6.Vacunación, bioseguridad y control de mastitis 63

Tabla 8. 64

Intervenciones de gestión responsable de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado 64

8.VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS 65
8.1.Preguntas científicas (una por cada objetivo específico) 65
9.METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL 66
Tabla 9. 67
Diferenciación metodológica del tipo de revisión empleada 67
9.1.Tipo de revisión y justificación metodológica 67
9.2.Diferencia entre estudios primarios y estudios secundarios 68
9.3.Delimitación del alcance mediante estrategia PECO 69
9.3.1.Población 69
9.3.2.Exposición 69
9.3.3.Comparación 69
9.3.4.Resultados 70
Tabla 10. 70
Aplicación de la estrategia PECO en la revisión 70
9.4.Pregunta orientadora de la revisión 71
9.5.Fuentes de información y bases de datos consultadas 71
9.6.Estrategia de búsqueda bibliográfica 72
9.6.1.Bloque de población 72
9.6.2.Bloque de exposición 72
9.6.3.Bloque específico de mastitis y terapia de secado 73
9.6.4.Bloque de resultados microbiológicos y salud pública 73
9.6.5.Bloque ambiental y One Health 73
9.7.Operadores booleanos utilizados 73
Anexo 1. 74
Matriz ampliada de búsqueda bibliográfica. 74

9.8.Gestión de referencias y depuración documental 77
9.9.Selección de estudios 77
9.10.Criterios de inclusión 78
9.11.Criterios de exclusión 79
9.12.Extracción de información 79
9.12.1.Datos generales extraídos 79
9.12.2.Datos extraídos para el objetivo específico 1 79
9.12.3.Datos extraídos para el objetivo específico 2 80
9.12.4.Datos extraídos para el objetivo específico 3 80
9.13.Organización de la evidencia 80
Tabla 11. 81
Relación entre fases metodológicas y anexos de matrices utilizadas 81
9.14.Síntesis de la evidencia 82
9.15.Análisis según objetivos específicos 82
9.15.1.Análisis del objetivo específico 1 82
9.15.2.Análisis del objetivo específico 2 82
9.15.3.Análisis del objetivo específico 3 82
9.16.Consideraciones sobre calidad y limitaciones metodológicas 83
9.17.Consideraciones éticas 83
9.18.Alcance de la revisión 83
9.19.Descripción general del proceso metodológico 84
10.ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 85
10.1.Patrones de uso antimicrobiano en mastitis y terapia de secado 85
Tabla 12. 85
Patrones de uso de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado en bovinos lecheros 85

10.2.Clasificación del uso terapéutico y profiláctico en bovinos lecheros 89
Tabla 13. 89
Clasificación del uso terapéutico y profiláctico en bovinos lecheros 89
10.3.Relación entre el uso antimicrobiano y los patrones de resistencia 92
Tabla 14. 92
Relación entre uso microbiano y resistencia en patógenos de mastitis y bacterias de resistencia 92
10.4.Residuos de antimicrobianos en leche e implicaciones para la salud publica 96
Tabla 15. 97
Residuos de antimicrobianos en leche e implicaciones para la salud publica 97
10.5.Vías ambientales de diseminación del resistoma en sistemas lecheros 100
Tabla 16. 100
Vías de diseminación del resistoma en sistemas lecheros 100
10.6.Intervenciones de stewardship aplicables a mastitis y terapia de secado 103
Tabla 17. 104
Intervenciones de stewardship aplicables a mastitis y terapia de secado 104
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 108
11.1. Conclusiones 108
11.2. Recomendaciones 109
12.BIBLIOGRAFÍA 111
13.ANEXOS .....
Anexo 1. Matriz de búsqueda .....
Anexo 2. Matriz de selección .....
Anexo 3. Matriz de extracción general .....
Anexo 4. Matriz temática .....

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Modelo One Health de la resistencia antimicrobiana en la cadena láctea.* 16

Figura 2. *Vías ambientales de diseminación de la resistencia antimicrobiana asociada con la aplicación de estiércol en suelos agrícolas.* 59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.*Actividades y sistemas de tareas en relación con los componentes.* 9

Tabla 2. *Definiciones operativas para la revisión.* 25

Tabla 3. *Patrones de uso antimicrobiano en mastitis y terapia de secado* 31

Tabla 4. *Bacterias de interés para el análisis de resistencia antimicrobiana en lechería* 41

Tabla 5. *Comparación entre estrategias terapéuticas y preventivas utilizadas en bovinos lecheros* 47

Tabla 6. *Puntos críticos para el control de residuos antimicrobianos en la cadena láctea* 53

Tabla 7.*Vías ambientales de diseminación de la resistencia antimicrobiana en sistemas lecheros* 59

Tabla 8. *Intervenciones de gestión responsable de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado* 64

Tabla 9. *Diferenciación metodológica del tipo de revisión empleada* 67

Tabla 10. *Aplicación de la estrategia PECO en la revisión* 70

Tabla 11. *Relación entre fases metodológicas y anexos de matrices utilizadas* 81

Tabla 12. *Patrones de uso de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado en bovinos lecheros* 85

Tabla 13. *Clasificación del uso terapéutico y profiláctico en bovinos lecheros* 89

Tabla 14.*Relación entre uso microbiano y resistencia en patógenos de mastitis y bacterias de resistencia* 92

Tabla 15. *Residuos de antimicrobianos en leche e implicaciones para la salud publica* 97

Tabla 16. *Vías de diseminación del resistoma en sistemas lecheros*..... 100

Tabla 17. *Intervenciones de stewardship aplicables a mastitis y terapia de secado*..... 104

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de búsqueda .....

Anexo 2. Matriz de selección .....

Anexo 3. Matriz de extracción general.....

Anexo 4. Matriz temática.....

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Resistencia antimicrobiana en la cadena láctea: uso terapéutico vs preventivo en bovinos y sus implicaciones One Health

Fecha de inicio: abril 2026

Fecha de finalización: agosto 2026

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi – Extensión Salache

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Carrera que auspicia: Agropecuaria

Equipo de Trabajo:

Tutora: MVZ. Alison Cristina Simancas Racines, Mg.

Lector 1: MVZ. Edie Gabriel Cuasapaz, Mtr.

Lector 2: Ing. Cristian Santiago Jiménez Jácome, Mg.

Lector 3: Dr. Eddian Humberto Mera Viera, Mg.

Coordinador del Proyecto:

Nombres: Acan Palag Luis Alexis

Teléfono: 0999787694

Correo: luis.acan6742@utc.edu.ec

Área de Conocimiento: Agricultura, silvicultura, pesca y veterinaria

Línea de investigación: Producción y Biotecnología Animal.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La resistencia antimicrobiana (RAM) representa uno de los mayores riesgos para la salud pública, debido a que acula la efectividad de los fármacos destinados a prevenir y curar patologías infecciosas tanto en personas como en animales. Este fenómeno deriva en tratamientos c9on resultados insuficientes, periodos de enfermedad más prolongados, incremento de los costos sanitarios y mayores dificultades para controlar microorganismos resistentes. Aunque la RAM puede surgir de forma natural, su aparición y propagación se aceleran considerablemente por el uso excesivo, indebido o innecesario de estos medicamentos. Por ello, su administración con criterios responsables es una prioridad para todos los sistemas de salud y protección animal (Pires et al., 2024).

La ganadería bovina lechera es una actividad clave desde el punto de vista económico y social: garantiza parte del abastecimiento alimentario, genera fuentes de empleo y sostiene el sustento de miles de familias que habitan en zunas rurales. Dentro de estos sistemas, los antimicrobianos son herramientas necesarias para tratar enfermedades que afectan la salud, el bienestar y la productividad de los animales. La mastitis es la patología que más frecuente motiva el uso debido a su elevada frecuencia y a las pérdidas relacionadas con la disminución de la producción, el descarte de leche, los gastos veterinarios y la eliminación prematura de animales. También se en la terapia de secado, tanto para curar infecciones mamarias existentes como para prevenir nuevas infecciones durante el periodo seco (Pires et al., 2024).

El uso terapéutico de antimicrobianos se encuentra dirigido al tratamiento de animales enfermos y debe sustentarse, siempre que sea posible, en el diagnóstico clínico, el cultivo bacteriológico y las pruebas de sensibilidad. Por el contrario , En cambio, el uso preventivo puede implicar la administración a animales que no presenten síntomas, como ocurre con la terapia del secado universa, donde se aplica el medicamento en la ganadería que se encuentre o no con infeccione. Esta distinción es fundamental: al ampliar la exposición de los fármacos, se incrementa su consumo se genera una mayor presión selectiva sobre las poblaciones bacterianas. Por esta razón, estrategias como la terapia de secado selectiva, los selladores internos de pezón, los protocolos veterinarios y el diagnóstico microbiológico han adquirido importancia dentro de los programas de uso responsable (Pearce et al., 2023).

Los efectos del uso inadecuado de antimicrobianos no se limitan en el ámbito de explotación ganadera. Las bacterias resistentes y los genes que codifican esta resistencia pueden circular entre los animales, el personal de trabajo, la leche, el estiércol, el suelo y las fuentes de agua. Los bovinos que reciben tratamiento pueden eliminar residuos de fármacos, bacterias resistentes y elementos genéticos asociados a la resistencia a través de heces y orina; estos elementos pasan al medo ambiente durante el almacenamiento, procesamiento o aplicación del estiércol como abono. De esta manera, la producción lechera se convierte en una interfaz en la que se relacionan la salud animal, la salud humana y la integridad de los ecosistemas (OMS, 2022).

La presencia de residuos de antimicrobianos representa otro riesgo tanto sanitario como productivo. Cuando no se respetan los tiempos de retiro establecidos o se cometen errores en la identificación y separación de los animales tratados, la leche no cumple con los requisitos sanitarios pueden incorporase al tanque de almacenamiento común. Esta situación deriva en el rechazo de lotes enteros, pérdidas económicas significativas, incumplimiento de los límites máximos permitidos de residuos y alteraciones en los procesos de elaboración de productos lácteos fermentados. Además, la detección de niveles superiores a los autorizados compromete la inocuidad alimentaria y puede socavar la confianza de los consumidores en la calidad de la leche y sus derivados (Pires et al., 2024).

Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH) han señalado la necesidad de abordar la resistencia antimicrobiana desde el enfoque One Health. Este enfoque reconoce la interdependencia existente entre la salud de los seres humanos, los animales y el ambiente, y promueve la colaboración entre autoridades sanitarias, médicos veterinarios, productores, industria alimentaria, investigadores y demás actores involucrados. Su aplicación en la cadena láctea permite integrar la vigilancia del uso de antimicrobianos, la resistencia bacteriana, los residuos presentes en la leche y la diseminación ambiental del resistoma (OMS, 2022).

Aunque existen numerosos estudios sobre el uso de antimicrobianos en ganadería lechera, la información disponible se encuentra fragmentada en trabajos que analizan de forma aislada eñ tratamiento de la mastitis, la terapia de secado, los patrones de resistencia, los residuos en leche o

las rutas ambientales de diseminación. Esta fragmentación dificulta establecer una visión integral que permita diferenciar las consecuencias del uso terapéutico dirigido frente al uso preventivo generalizado. Esta dispersión dificulta construir una visión global que permita diferenciar con claridad los impactos del uso terapéutico dirigido frente al uso preventivo generalizado. Asimismo, impide identificar cuáles son las medidas más eficaces para reducir tratamientos innecesarios sin poner en riesgo la salud mamaria, el bienestar animal ni el rendimiento de los hatos ganaderos. En este contexto, la presente revisión bibliográfica se justifica por la necesidad de reunir y analizar de forma integrada la evidencia científica sobre los patrones de empleo de antimicrobianos en el manejo de la mastitis y la terapia de secado, su vínculo con la aparición de resistencia y las principales vías de difusión del resistoma en el medio ambiente. Además, se recopilan las intervenciones de gestión más recomendables, entre ellas el diagnóstico microbiológico, la terapia de secado selectiva, los selladores internos de pezón, los protocolos terapéuticos estandarizados, las medidas de bioseguridad y el manejo adecuado de los desechos ganaderos (Pires et al., 2024).

Finalmente, el conocimiento generado podrá servir como referencia para productores, ingenieros agropecuarios, médicos veterinarios, estudiantes, docentes, instituciones de vigilancia sanitaria y actores de la industria láctea. La información sintetizada contribuirá a orientar decisiones fundamentadas, fortalecer el uso prudente de antimicrobianos, prevenir residuos en la leche y disminuir la circulación de bacterias y genes de resistencia. Por consiguiente, el estudio presenta relevancia científica, productiva, sanitaria, ambiental y social, al promover sistemas lecheros más seguros y sostenibles desde el enfoque One Health.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1. Beneficiarios directos

Los productores de ganado bovino lechero, quienes dispondrán de evidencia sintetizada sobre el uso terapéutico y preventivo de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado, útil para mejorar sus prácticas de manejo sanitario.

Los Ingenieros agropecuarios y médicos veterinarios responsables del diagnóstico y tratamiento de mastitis, quienes contarán con evidencia sobre los patrones de uso de antimicrobianos y su asociación con la resistencia antimicrobiana, como apoyo a decisiones de uso responsable (stewardship).

Los estudiantes y docentes de la carrera de Agropecuaria de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para quienes el estudio constituye material de consulta y aporte formativo bajo el enfoque One Health.

3.2.Beneficiarios indirectos

Los consumidores de leche y derivados lácteos, beneficiados por la promoción de la inocuidad alimentaria y la reducción de riesgos asociados a residuos de antimicrobianos y bacterias resistentes.

El sistema de salud pública, en la medida en que un uso más racional de antimicrobianos en la cadena láctea contribuye a frenar la propagación de resistencia antimicrobiana relevante para la salud humana.

Instituciones de vigilancia y control sanitario, como AGROCALIDAD, que pueden emplear la evidencia sintetizada como referencia para fortalecer políticas de uso responsable de antimicrobianos.

El ambiente, dado que la reducción de la diseminación del resistoma a través de agua, suelo y residuos pecuarios contribuye a preservar los ecosistemas de la zona de producción lechera.

La industria láctea y su cadena de comercialización, que se benefician de una producción más segura y con mejor reputación sanitaria.

La sociedad en general y la comunidad científica, que disponen del conocimiento generado como referencia para futuras investigaciones desde el enfoque One Health.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En los sistemas de producción de bovina lechera, los antimicrobianos constituye una herramienta esencial para tratar enfermedades que afectan la salud y el bienestar animal, así como la estabilidad económica de los sistemas productivos. La mastitis se destaca como uno de las dolencias que más frecuentemente motivan su aplicación debido a sus efectos sobre la producción y calidad de la leche, los gastos veterinarios, el descarte del producto y la permanencia de las vacas en el hato. Sin embargo, en la práctica cotidiana estos fármacos no siempre se emplean

exclusivamente confines curativos, sino que también se utilizan de forma preventiva, una situación que ha generado preocupación por sus implicaciones en la salud pública y la conservación del medio ambiente (OMS - Organización Mundial de la Salud, 2026)).

El uso terapéutico se orienta a animales con enfermedades ya diagnosticadas, mientras que el uso preventivo puede implicar administrar antimicrobianos a ejemplares sanos, con el fin de evitar posibles infecciones. Esta distinción requiere especial relevancia en el marco de la terapia de secado: la modalidad en manto consiste en aplicar tratamientos intramamarios a toda las vacas al finalizar la lactancia, independientemente de su estado sanitario; en cambio la terapia selectiva limita la intervención solo aquellas vacas o cuartos mamarios que presentan evidencia de infección o de mayor riesgo, tomando como base indicadores como el recuento de células somáticas, los antecedentes de mastitis, los resultados microbiológicos y los registros sanitarios (OMS - Organización Mundial de la Salud, 2026).

Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) han advertido que el uso inadecuado de antimicrobianos en animales destinados a la producción de alimentos favorece la selección y diseminación de microorganismos resistentes. Este fenómeno reduce la efectividad de los tratamientos disponibles y representa un riesgo compartido entre la salud animal y la humana. El problema no limita solo a la cantidad de medicamentos utilizados, sino también en la selección de la molécula, la dosis, la duración, la vía de administración, el cumplimiento del tiempo de retiro y la existencia o ausencia de un diagnóstico que justifique el tratamiento (OMS, 2022).

En las explotaciones lecheras, las decisiones sobre tratamientos suelen verse influidas por la experiencia del productor, la disponibilidad de medicamentos, la gravedad que se percibe de la dolencia, los costos asociados al diagnóstico y el acceso a asesoría profesional calificada. Cuando se aplican tratamientos de forma empírica, sin respaldo de cultivos bacteriológicos ni pruebas de sensibilidad, es frecuente que se utilicen un medicamento que no resulte necesario o efectivo frente al agente causal. Asimismo, la falta de registros sanitarios dificulta conocer qué animales fueron tratados, qué producto recibieron, durante cuánto tiempo y cuándo puede reincorporarse su leche al tanque (OMS, 2024).

La exposición continua de las bacterias a los antimicrobianos genera una presión selectiva que favorece la supervivencia de microorganismos resistentes. Estas pueden incluir patógenos directamente relacionados con la mastitis, como Staphylococcus aureus, Streptococcus agalactiae, Escherichia coli, Klebsiella spp. y Streptococcus uberis, así como en bacterias indicadoras o comensales presentes en el intestino, las heces, la leche y el ambiente. Asu vez, los genes responsables de la resistencia pueden formar parte de elementos genéticos móviles lo que les permite transferirse entre distintas poblaciones bacterianas y ampliar el alcance del problema tanto dentro como fuera de la unidad productiva. En la cadena láctea, esta problemática adquiere particular relevancia porque la leche puede constituir una vía indirecta de exposición a bacterias resistentes o residuos de antimicrobianos cuando no se aplican medidas adecuadas de uso responsable. Si no se respetan los tiempos de retiro o se mezcla por error leche de animales tratados con el tanque general, se puede contaminar volúmenes significativos de producto. Esto puede ocasionar el rechazo del producto, pérdidas económicas, incumplimiento de los límites máximos de residuos y dificultades en procesos industriales como la elaboración de yogur y queso (Carolina Pinzon, 2025).

El problema también comprende una dimensión ambiental. Después de su administración, una parte de los antimicrobianos puede eliminarse mediante las heces y la orina, junto con bacterias resistentes y genes de resistencia antimicrobiana. El estiércol, los purines y las aguas residuales pueden actuar como reservorios y vías de transporte de estos elementos. Cuando los residuos pecuarios se almacenan o aplican inadecuadamente como fertilizantes, los antimicrobianos, bacterias resistentes y genes de resistencia pueden alcanzar el suelo, las aguas superficiales y, mediante lixiviación, las fuentes subterráneas. Las condiciones particulares de cada explotación también pueden modificar la magnitud del problema. El tamaño del hato, el sistema de manejo, la higiene durante el ordeño, el estado de las instalaciones, la frecuencia de mastitis, el acceso a pruebas diagnósticas, el cumplimiento de protocolos y la participación del médico veterinario influyen en las decisiones de tratamiento. Por ello, no resulta adecuado interpretar de la misma manera el uso antimicrobiano realizado bajo diagnóstico y supervisión profesional que su administración preventiva generalizada o empírica (OMS - Organización Mundial de la Salud, 2026).

Actualmente se han propuesto diversas estrategias para promover una gestión responsable: análisis microbiológicos, pruebas diagnósticas rápidas en finca, protocolos terapéuticos estandarizados, terapia de secado selectiva, uso de selladores intramamarios, sistematización de registros sanitarios, buenas prácticas de ordeño y manejo adecuado de desechos pecuarios. No obstante, la implementación de estas intervenciones depende de la disponibilidad de recursos, la capacidad diagnóstica, la calidad de los registros y la capacitación del personal. Además, su efectividad varía según la realidad sanitaria y productiva de cada hato. A pesar de la existencia de numerosos estudios sobre mastitis, terapia de secado, resistencia bacteriana, residuos en leche y contaminación ambiental, la información se encuentra dispersa y suele analizar cada componente por separado. Persiste, por tanto, una limitada integración y comparación de la evidencia que permita diferenciar con claridad el uso terapéutico dirigido del uso preventivo generalizado, relacionar ambas prácticas con los patrones de resistencia y reconocer las rutas mediante las cuales el resistoma puede circular en los sistemas lecheros (AHDB, 2024).

Desde el enfoque One Health, que reconoce la interdependencia entre la salud animal, la salud humana y el ambiente, resulta necesario analizar conjuntamente estos elementos. De este modo, el eje central de la presente investigación surge de la necesidad de reunir y analizar la información disponible sobre los patrones de uso terapéutico y preventivo de antimicrobianos en el manejo de la mastitis y la terapia de secado, su vínculo con la resistencia antimicrobiana y las principales vías de difusión ambiental del resistoma. Esta síntesis permitirá identificar intervenciones aplicables a la producción lechera y aportar fundamentos técnicos para orientar decisiones sanitarias más prudentes, sostenibles y coherentes con el enfoque One Health.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Sintetizar la evidencia sobre la resistencia antimicrobiana debido al uso terapéutico y preventivo en el manejo de mastitis y terapia de secado bajo el enfoque One Health.

5.2. Específicos

Caracterizar los patrones de uso de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado en bovinos lecheros, diferenciando indicación terapéutica y profiláctica.

Sintetizar la evidencia sobre la asociación entre uso terapéutico y preventivo en mastitis y terapia de secado, y los patrones de resistencia antimicrobiana en vacas lecheras.

Describir las principales vías de diseminación ambiental del resistoma asociadas a la producción lechera y resumir intervenciones de stewardship aplicables a mastitis y terapia de secado.

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

Tabla 1

Actividades y sistemas de tareas en relación con los componentes.

Objetivo específico	Actividades principales	Instrumento de registro	Producto esperado
OE1. Caracterizar los patrones de uso de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado en bovinos lecheros, diferenciando indicación terapéutica y profiláctica.	1) Delimitar alcance: bovinos lecheros; foco en mastitis y terapia de secado; idiomas español e inglés; enfoque One Health. 2) Ejecutar búsqueda en bases y repositorios definidos y depurar duplicados. 3) Seleccionar por título y resumen y por texto completo aplicando criterios de inclusión y exclusión. 4) Extraer datos de uso: indicación, etapa productiva, clase antimicrobiana con énfasis en cefalosporinas, vía de administración y métricas reportadas cuando existan. 5) Organizar resultados por sistema productivo cuando el estudio lo reporte.	Matriz AMU mastitis–secado: Autor, año, país, sistema, síndrome o práctica, indicación, clase, vía, métrica y hallazgo cave.	Cuadro 1: Patrones de uso terapéutico y preventivo en mastitis y terapia de secado, con clases y vías más reportadas.
OE2. Sintetizar la evidencia sobre la asociación entre uso terapéutico y preventivo en mastitis y terapia de secado, y los patrones de resistencia antimicrobiana en vacas lecheras.	1) Extraer resultados de resistencia antimicrobiana en patógenos de mastitis y bacterias indicadoras, método de sensibilidad y definiciones. 2) Codificar el tipo de uso: terapéutico vs preventivo y terapia de secado selectiva vs en manto.	Matriz AMR–Residuos: agente o indicador, método, patrón de resistencia, tipo de uso, residuos o no conformidad, MRL y retiro, conclusión.	Cuadro 2: Evidencia comparativa del impacto del uso terapéutico vs preventivo sobre AMR y residuos en leche.

	3) Extraer información de residuos: métodos de detección, no conformidades, MRL, tiempos de retiro y rechazos de tanque cuando se reporten. 4) Sintetizar comparativamente la evidencia sobre asociaciones entre tipo de uso, AMR y residuos.		
OE3. Describir las principales vías de diseminación ambiental del resistoma asociadas a la producción lechera y resumir intervenciones de stewardship aplicables a mastitis y terapia de secado.	1) Extraer evidencia ambiental: rutas, genes de resistencia y co-selección, factores que influyen en carga. 2) Extraer medidas de mitigación ambiental como compostaje y biodigestión y resultados cuando existan. 3) Recolectar intervenciones de stewardship centradas en mastitis y terapia de secado: diagnóstico, protocolos, terapia de secado selectiva, selladores, bioseguridad, vacunas y alternativas. 4) Sintetizar qué intervenciones muestran resultados más consistentes y bajo qué condiciones.	Matriz Ambiente–Stewardship: vía ambiental, ARGs, hallazgos, intervención, resultado y aplicabilidad.	Cuadro 3: Vías ambientales del resistoma y evidencia de intervenciones de stewardship y mitigaciones aplicables a la cadena láctea.

Fuente: Elaboración propia.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Enfoque One Health en la resistencia antimicrobiana de la cadena láctea

7.1.1. Fundamentos del enfoque One Health

Según (OMS - Organización Mundial de la Salud, 2026), menciona que el enfoque de salud constituye una estrategia integradora que reconoce la interdependencia entre la salud humana, animal la sanidad vegetal y el estado de los ecosistemas. Su objetivo principal es lograr un equilibrio perdurable entre estos componentes, mediante la cooperación activa de profesionales e instituciones provenientes de distintas áreas de conocimiento. Este enfoque permite comprender los principales problemas sanitarios que no se desarrollan de manera conocida, debido a que las alteraciones producidas en la salud animal, en condiciones ambientales es capaz de generar

secuelas sobre la salud del ser humano, la seguridad alimentaria y el equilibrio de los sistemas productivos.

Para su aplicación efectiva, este enfoque exige una estrecha articulación entre los sectores sanitarios, así como con la producción agropecuaria, la industria alimentaria, la sanidad animal y la conservación ambiental. El Plan de Acción Conjunto Una Salud 2022-2026 resalta que el intercambio de información entre actores fortalece la capacidad de prevención, detección temprana y respuesta ante amenazas que afectan simultáneamente a seres humanos, animales y el medio ambiente. De igual forma, el enfoque no se limita únicamente a los tratamientos médicos, sino que abarca también los factores sociales, productivos y ecológicos involucrados (OMS, 2022).

En esta línea, Winkler et al. (2025) sostienen que una salud debe concebirse como un sistema de interacciones socio ecológicas que se manifiestan en las actividades humanas, como la producción de alimentos, la gestión de recursos naturales y el cuidado de la salud animal. En el ámbito de la cadena láctea, esta visión posibilita analizar de manera conjunta el estado sanitario del ganado, la exposición de los trabajadores y los consumidores, así como la gestión adecuada de los residuos ganaderos. Así, los riesgos asociados a la producción lechera pueden examinarse de forma integran: desde su origen en la unidad productiva hasta sus posibles repercusiones en la salud pública y el entorno natural (Winkler et al., 2025).

7.1.2. Resistencia antimicrobiana como problema One Health

La resistencia a los antimicrobiana surge cuando las bacterias, virus, hongos y otros parásitos dejan de ser susceptibles a los farmacéuticos empleados para prevenir o tratar infecciones. Esto provoca cuadros clínicos más prolongados, mayor riesgo de complicaciones y una notable dificultad para lograr resultados terapéuticos exitosos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirmo que el uso inadecuado y excesivo de medicamentos es el principal factor en acelerar la propagación de los microorganismos que son resistentes a los seres hen esta lineaumanos, animales y los sistemas de producción (Pires et al., 2024).

En su investigación, Naghavi et al. (2024) señalan que, según un análisis sistemático correspondiente al año 2021, cerca de 4,71 millones de defunciones estuvieron relacionadas con la resistencia bacteriana a los antimicrobianos; de este total, 1,14 millones tuvieron una vinculación

directa con este fenómeno. Asimismo, las proyecciones para el periodo 2025-2050 indican que la resistencia bacteriana podría causar alrededor de 39 millones de muertes a nivel mundial si no se fortalecen las estrategias de vigilancia, detección temprana, diagnóstico y uso responsable de los fármacos (Naghavi et al., 2024).

Para el enfoque de Una Salud, la resistencia antimicrobiana representa uno de los desafíos centrales, dado que los microorganismos resistentes y sus determinantes genéticos circulan entre poblaciones humanas, animales, alimentos y el entorno natural. Su propagación se produce mediante contacto directo, consumo de productos contaminados, liberación de desechos en el suelo y vertido de aguas residuales sin tratamiento adecuado. Por ello, su control requiere acciones coordinadas que integren la salud pública, la sanidad animal, la inocuidad alimentaria, la producción agropecuaria y la conservación ambiental (OMS, 2024).

En la ganadería bovina lechera, los antimicrobianos se utilizan fundamentalmente para tratar afecciones bacterianas, siendo la mastitis la patología más frecuente, tanto durante la etapa de lactancia como en el periodo de secado. Pires et al. (2024) indican que el empleo continuo o inadecuado de estos fármacos favorece la selección de cepas resistentes en los animales y en las instalaciones productivas. Tanto estos microorganismos como sus genes de resistencia y los residuos de los medicamentos pueden detectarse en la leche, el estiércol, las aguas de almacenamiento o desecho y los suelos fertilizados con residuos ganaderos. En consecuencia, la resistencia antimicrobiana en la cadena láctea no solo compromete la eficacia de los tratamientos veterinarios, sino que también afecta la inocuidad de los alimentos, la salud de la población y el equilibrio de los ecosistemas (Pires et al., 2024).

7.1.3. Interacción animal-humano-ambiente en la producción lechera

El sistema que constituye la producción lechera es constante entre bovinos, humano, leche y ambiente dentro de la finca. Mientras se hace el proceso del ordeño, acopio y distribución la leche puede estar en contacto con varios microorganismos propios de la ubre, de la piel del propio animal, La producción bovina lechera funciona como un sistema dinámico en el que interactúan de forma continua los animales, las personas, la leche y el entorno dentro de la unidad productiva. Durante el ordeño, el almacenamiento y la distribución, el producto puede entrar en contacto con microorganismos propios de la ubre, la piel del ganado, las manos del personal, el equipo de

trabajo, así como con el agua y superficies contaminadas. En este contexto, los antimicrobianos se emplean para prevenir y tratar patologías clave como la mastitis; sin embargo, la presión selectiva que ejercen sobre las poblaciones bacterianas favorece la circulación de cepas resistentes hacia la leche, el estiércol y las fuentes de agua contaminadas (Pires et al., 2024).

En su estudio, Roy et al. (2024) analizaron 636 muestras de leche cruda, hisopados nasales de vacas y trabajadores, y diversos elementos ambientales provenientes de explotaciones lecheras. Los autores registraron una prevalencia global del 13,4 % de *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina: las muestras de origen ambiental presentaron el valor más alto (19,3 %), mientras que en la leche cruda la cifra alcanzó el 11,8 %. La similitud genética detectada entre los aislamientos obtenidos de animales, personas y el entorno demuestra que las instalaciones lecheras constituyen un espacio propicio para el intercambio de bacterias resistentes entre todos los componentes del sistema productivo (Roy et al., 2024).

En el ámbito nacional, Puga-Torres et al. (2025) evaluaron 406 muestras de leche cruda comercializada de manera informal en las provincias de Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas. Los resultados indicaron que solo el 12,32 % cumplió con la totalidad de los requisitos sanitarios vigentes en Ecuador, mientras que el 87,68 % presentó al menos un incumplimiento de calidad. Asimismo, el 6,40 % de las muestras dio positivo a la presencia de residuos de antibióticos. Estos hallazgos confirman que las fallas en las etapas de producción, manipulación, conservación y venta de la leche pueden trasladar riesgos originados en la finca directamente hasta el consumidor final (Puga-Torres et al., 2025).

Por su parte, el medio ambiente también cumple un papel fundamental en la permanencia y propagación de la resistencia antimicrobiana dentro de las explotaciones lecheras. Collis et al. (2024) llevaron a cabo un seguimiento durante quince meses en dos establecimientos con sistemas de producción basados en pastoreo, detectando genes de resistencia en distintas muestras del entorno productivo. Aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad total de estos genes entre ambas fincas, su presencia valida que el ambiente actúa como un reservorio de determinantes de resistencia. Por esta razón, la gestión del estiércol, las aguas residuales, la leche descartada y las áreas de ordeño debe integrarse de forma coordinada con la vigilancia sanitaria animal y la protección de trabajadores y consumidores (Collis et al., 2024a).

7.1.4. La cadena láctea como vía de conexión sanitaria

La cadena de producción láctea abraca todas las actividades que se desarrollan desde la o obtención de la leche en la unidad productiva hasta su transformación, distribución y consumo. En este proceso intervienen el ganado bovino, productores, veterinarios, trabajadores encargados del ordeño, transportistas, centros de acopio, industrias procesadoras, comerciantes y consumidores. La interrelación entre estos actores hace que la cadena funcione como un vehículo sanitario continuo, lo que ocurre en una etapa determinada influye directamente en la calidad y la inocuidad del producto que llega a las siguientes fases (Rodríguez-Díaz et al., 2022).

Dentro de la explotación, la leche puede contaminarse con agentes provenientes de animales afectados por mastitis, superficies de ordeño, manos del personal, agua, recipientes o equipos con higiene deficiente. Según Calahorrano-Moreno et al. (2022) señalan que los principales focos de contaminación microbiológica se asocian a las condiciones del ordeño, el almacenamiento y el traslado del producto. Asimismo, los autores advierten sobre la presencia de contaminantes químicos que se deriva por la utilización de fármacos, alimentos, agua y sustancias utilizadas durante la producción. Por ello, el control sanitario debe comenzar antes de que la leche abandone la unidad productiva y mantenerse durante toda la cadena (Naghavi et al., 2024).

En las etapas de recolección y procesamiento, al mezclarse la leche proveniente de distintos orígenes puede afectar a lotes. Errores en la identificación de ejemplares tratados, el no respeto de los tiempos de retiro o la incorporación accidental de leche no apta pueden derivar en la presencia de residuos de antimicrobianos en el almacenamiento común. Aunque la pasteurización reduce considerablemente los riesgos microbiológicos, por ende, no garantiza que va a eliminar residuos de medicamentos veterinarios, por lo tanto, es necesario contar con sistemas de trazabilidad, pruebas de detección y controles de calidad previos a la comercialización (Naghavi et al., 2024).

Esta situación cobra mayor relevancia en los canales de comercialización no regulares. Puga-Torres et al. (2025) analizaron 406 muestras de leche cruda analizadas en Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas , encontrando que 356 de ellas incumplían al menos un criterio sanitario, mientras que 26 presentaron residuos de antibióticos. Estos resultados muestran que las deficiencias originadas durante la producción, conservación o transporte pueden trasladarse hasta

el consumidor. Por consiguiente, la cadena láctea debe vigilarse como un sistema i ntegral, donde la salud animal, practicas del personal, la inocuidad del alimento y el cuidado del entorno están estrechamente vinculados (Puga-Torres et al., 2025).

7.1.5. Mastitis bovina y terapia de secado como puntos críticos del uso antimicrobiano en lechería

La mastitis bovina se define como una inflamación de la glándula mamaria provocada mayormente por infecciones bacterianas que puede manifestarse en forma clínica o subclínica. Además de afectar negativamente el bienestar del animal, reduce el volumen y calidad de producción láctea, e incrementa los costos asociados al diagnóstico, la atención sanitaria, el descarte de producto y eliminación anticipada de ejemplares. Al respecto, Gonçalves et al. (2022) analizaron datos de 50.329 lactancias registradas en 37 explotaciones lecheras y determinaron que la mastitis clínica sigue siendo la patología diagnosticada con mayor frecuencia en el ganado estudiado (Gonçalves et al., 2022).

El manejo terapéutico de esta afección constituye una de las causas principales de empleo de antimicrobianos en la producción lechera. Farrell et al. (2023) indica que las decisiones sobre los tratamientos suelen depender de la experiencia del productor, la disponibilidad de fármacos, la percepción de la gravedad del cuadro y el acceso a asesoría veterinaria calificada. Cuando se actúa sin contar con diagnostico microbiológico, cultivo o protocolos definidos, aumenta la posibilidad de administrar medicamentos innecesarios o seleccionar principios activos que no corresponden al agente causal (Farrell et al., 2023).

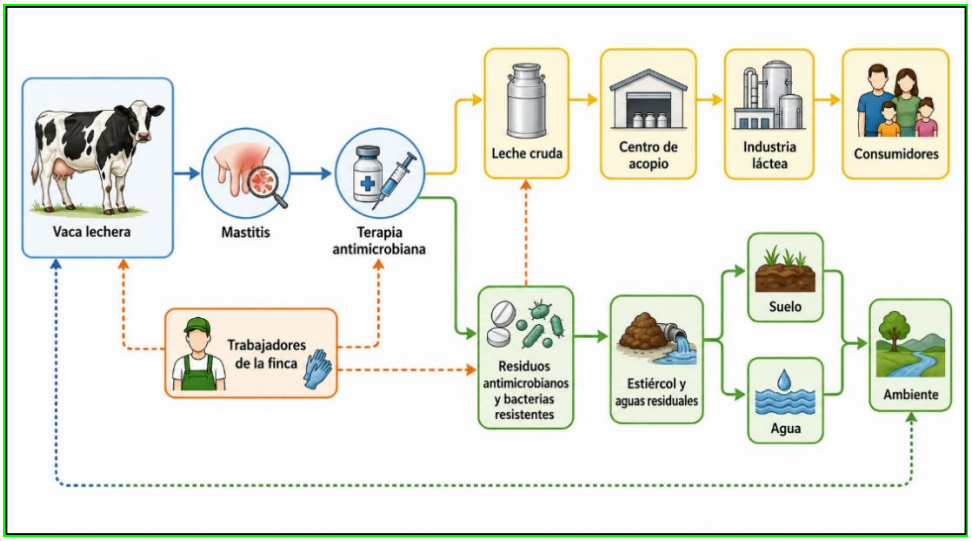
La terapia de secado representa otro punto crítico en el uso de estos fármacos: se aplica al finalizar la lactancia con el fin de curar infecciones intramamarias ya presentes y prevenir nuevas afecciones durante el periodo de reposo productivo. La estrategia universal o en manto consiste en suministrar antimicrobianos a todas las vacas del hato sin distinción de su estado sanitario. Por el contrario, la terapia selectiva restringe la intervención solo a los animales o cuartos mamarios que presentan evidencia de infección o alto riesgo, basándose en antecedentes clínicos, recuento de células somáticas, resultados de laboratorio y registros productivos (Farrell et al., 2023).

En este sentido, Paiva et al. (2024) compararon dos esquemas de terapia de secado selectiva frente a la aplicación generalizada de fármacos. Mientras que en el grupo de tratamiento universal se administró antimicrobianos al 100 % de las vacas, los algoritmos selectivos permitieron tratar únicamente al 51,3 % y al 24,7 % de los ejemplares, respectivamente. Estos hallazgos demuestran que la selección de animales basada en criterios sanitarios objetivos puede reducir de forma significativa la exposición a antimicrobianos durante esta etapa del ciclo productivo (Paiva et al., 2024a).

Dado que gran parte del consumo de estos medicamentos se concentra en el manejo de la mastitis y la terapia de secado, la presente revisión centra su análisis en estos dos escenarios. De Jong et al. (2024) indican que los tratamientos de mastitis clínica representan una proporción importante del consumo de antimicrobianos en las fincas lecheras, por lo que la incorporación de pruebas diagnósticas, protocolos terapéuticos, terapia de secado selectiva y selladores internos puede contribuir a reducir tratamientos innecesarios sin descuidar la salud de la ubre (de Jong et al., 2024)

Figura 1.

Modelo One Health de la resistencia antimicrobiana en la cadena láctea.



Fuente: Elaboración propia, adaptada de Bacanlı y Başaran (2022).

7.2. Conceptos y definiciones fundamentales

7.2.1. Resistencia antimicrobiana, microbiota y resistoma

La resistencia antimicrobiana (RAM): denominada en inglés antimicrobial resistance (AMR), se manifiesta cuando bacterias, virus, hongos o parásitos pierden su sensibilidad frente a los fármacos diseñados para tratar o prevenir sus infecciones. Si bien este fenómeno puede surgir de forma espontánea en la naturaleza, su aparición y propagación se ven notablemente aceleradas por el uso indebido o excesivo de estos medicamentos. La Organización Mundial de la Salud indica que, durante el año 2023, cerca de una de cada seis infecciones bacterianas confirmadas por análisis de laboratorio presentó resistencia a los antibióticos; a su vez, se estima que en 2021 la resistencia bacteriana se vinculó a más de 4,7 millones de defunciones en todo el mundo (OMS - Organización Mundial de la Salud, 2026).

En el ámbito de la producción bovina lechera, la resistencia antimicrobiana está estrechamente ligada a los tratamientos empleados contra patologías como la mastitis, la metritis, así como afecciones respiratorias o podales. La exposición reiterada o inadecuada a los fármacos favorece la supervivencia de cepas resistentes, las cuales pueden persistir en los animales, la leche, las heces, el suelo y las fuentes de agua. Según Pires et al. (2024), su desarrollo también depende de factores como la clase de antimicrobiano utilizado, la dosis suministrada, la duración del tratamiento, la vía de administración, las prácticas sanitarias implementadas y las condiciones ambientales propias de cada explotación ganadera (Pires et al., 2024).

Microbiota: en el ganado bovino este conjunto microbiano se asienta principalmente en el rumen, el tracto digestivo, aprovechando nutrientes y la protección frente a los microorganismos patógenos. AL administrar los antibióticos se puede alterar el equilibrio y disminuir las poblaciones sensibles, además, favorecer la permanencia de bacterias resistentes, incluso después de finalizar el tratamiento (Pires et al., 2024).

Resistoma: comprende un conjunto de determinantes geneticosque confieren resistencia a los antimicrobianos, presentes tanto en bacterias patógenas como en comensales o de origen ambiental. Estos elementos pueden transmitirse entre distintos microorganismos y dispersarse a través de la leche, las heces, el estiércol y las aguas residuales. Por lo tanto, Xue et al. (2021) caracterizaron el resistoma ruminal de 48 ejemplares lecheras e identificaron genes con capacidad

potencial para brindar resistencia frente a 26 categorías diferentes de antimicrobianos. Los hallazgos demostraron que cada animal presentó un perfil genético de resistencia propia y que las bacterias ruminales actúan como reservorio clave de estos determinantes (Xue et al., 2021).

El estudio integrado del microbioma y la resistoma permite identificar qué microorganismos y genes de resistencia circulan en los animales, el producto lácteo y el entorno. No obstante, la detención del gen no implica automáticamente que este se exprese o que pueda transferirse a una bacteria patógena. Asimismo, Urrutia-Angulo et al. (2025) advierten que la baja concentración microbiana de la leche y el riesgo de contaminación durante el muestreo pueden influir en los resultados de los análisis metagenómicos, por lo que deben interpretarse con precaución (Urrutia-Angulo et al., 2025).

7.2.2. Uso terapéutico y profiláctico de antimicrobianos

Uso terapéutico: consiste en suministrar fármacos exclusivamente a ejemplares que presenten manifestaciones clínicas compatibles con la infección confirmada. Teniendo como finalidad controlar la enfermedad, también recuperar la salud y proteger el bienestar del ejemplar. Por lo tanto, este tratamiento es responsable mediante el diagnóstico veterinario y, cuando sea posible, en cultivos microbiológicos y pruebas de sensibilidad, por ende, se debe respetar la dosis, frecuencia, duración y periodo de retiro establecidos para el medicamento (Ruegg, 2022).

En los sistemas de producción lecheras, la mastitis constituye la principal causa de administración de antimicrobianos. Según, Ruegg (2022) menciona que esta enfermedad puede afectar al menos en un 25 % del ganado lechero, durante el periodo de lactancia. También, existen otras enfermedades que son tratadas frecuentemente como: la metritis, que se encuentra entre el 7 % y el 11 % de las vacas; la retención de la placenta el 5 % y el 8 %; de igual manera las enfermedades respiratorias, que se representa en un 3 % aproximadamente. Mediante estos análisis se puede justificar que el uso responsable se concentre principalmente en la prevención y tratamiento adecuado de la mastitis y la metritis (Ruegg, 2022).

Uso metafiláctico: consiste en administrar antimicrobianos a un conjunto de ejemplares en el que algunos ya muestran signos clínicos de enfermedad, mientras que el resto aun no represente, por ende, se presenta un alto riesgo de haber contraído la infección o de desarrollarla. Para

implementarla se exige la existencia de una situación epidemiológica confirmada y una justificación técnica por parte del profesional veterinario, ya que implica exponer simultáneamente a algunos animales al fármaco (OMS - Organización Mundial de la Salud, 2026).

Uso profiláctico: se debe administrar antimicrobianos a los animales que se encuentran sanos con el fin de prevenir infecciones ante un riesgo identificado. Esta práctica debe reservarse para situaciones excepcionales y no utilizarse como sustituto de la higiene, vacunación, bioseguridad o manejo adecuado. Se incrementa la exposición de las bacterias a los medicamentos y favorece la selección de resistencia antimicrobiana mediante la aplicación indiscriminada (OMS - Organización Mundial de la Salud, 2026).

En el ganado lechero estos usos pueden diferenciarse durante el periodo de secado. La instilación intramamaria en una vaca con infección responde a una finalidad terapéutica, mientras que su uso en ejemplares sin evidencia de afección se considerarse profiláctica. Por esta razón, se recomienda adoptar la terapia de secado selectiva, sustentada en criterios como antecedentes clínicos de mastitis, recuento de células somáticas, resultados de análisis microbiológicos y la situación sanitaria general del hato (OMS - Organización Mundial de la Salud, 2026).

La experiencia de los países nórdicos evidencia que es posible sostener la producción y calidad láctea reduciendo de forma notable el consumo de antibióticos. En Finlandia, el 78 % de los productores declaro aplicar la terapia de secado selectiva y el 9 % no emplearla; además, el 71 % de los rebaños no emplean esta estrategia, el tratamiento se limita al menos de una ¼ parte de las vacas. Por su parte, En Suecia, el 96 % de los productores señaló utilizarla y, en la mayoría de los casos, solamente se trataba al 25 % o menos de los animales. En Noruega, la frecuencia de atención de mastitis clínica se redujo un 73 % entre 1994 y 2018, sin que afectara la calidad sanitaria del producto (Rajala-Schultz et al., 2021)

7.2.3. Mastitis bovina como principal condición asociada al uso antimicrobiano intramamario

La mastitis bovina consiste en una inflamación de la glándula mamaria provocada mayoritariamente por infecciones bacterianas. Puede manifestarse en forma clínica, con alteraciones observables en la leche y la ubre, o subclínica, sin signos externos evidentes, pero con

aumento de recuento de células somáticas y reducción del volumen productivo. Los principales agentes causales incluyen Staphylococcus aureus, estafilococos no aureus, Streptococcus agalactiae, Streptococcus uberis, Escherichia coli y Klebsiella spp. (Kerro Dego & Vidlund, 2024).

Esta patología representa una de las fuentes más importantes de pérdidas económicas en la ganadería lechera, derivadas de la disminución de la producción, el descarte del producto, costos veterinarios, tratamientos y eliminación anticipada de animales. Según Ruegg (2022) la mastitis clínica afecta al menos al 25 % de las vacas durante cada ciclo de lactancia; a su vez, las intervenciones intramamarias para su manejo tanto en lactancia como en el periodo de secado constituyen la práctica más frecuente de uso de antimicrobianos en las explotaciones (Ruegg, 2022).

La vía intramamaria permite depositar el fármaco directamente en el cuarto mamario afectado, logrando concentraciones altas en el sitio de la infección. No obstante, su aplicación no debe ser automática, ya que su efectividad depende del agente patógeno involucrado, su perfil de susceptibilidad, la duración del cuadro y la etapa productiva del animal. De Jong et al. (2023) indica que la utilización de cultivos microbiológicos para seleccionar los casos tratables puede disminuir el uso de antimicrobianos sin perjudicar la recuperación de las vacas con mastitis no grave (de Jong et al., 2024).

El tratamiento intramamario también exige respetar el periodo de retiro para evitar residuos en la leche destinada al consumo. Las fallas en la identificación de vacas tratadas, el incumplimiento del tiempo de retiro o la administración de medicamentos sin supervisión incrementan el riesgo de contaminación de la leche. Desde el enfoque One Health, el control de la mastitis debe integrar diagnóstico, higiene del ordeño, mantenimiento de los equipos, registros sanitarios y uso prudente de antimicrobianos para proteger simultáneamente la salud animal, la inocuidad alimentaria y el ambiente (de Jong et al., 2024)

7.2.4. Terapia de secado en bovinos lecheros

La terapia de secado se e implementa al concluir la etapa de lactancia, con el propósito de erradicar infecciones intramamarias ya presentes y prevenir la aparición de nuevas afecciones durante el periodo de reposo productivo. Esta fase permite la regeneración del tejido mamario y

su preparación para el siguiente ciclo de producción; no obstante, las primeras semanas tras el secado y los días previos al parto constituyen los momentos de mayor vulnerabilidad ante el ingreso de agentes patógenos (Okello et al., 2023).

La intervención farmacológica se basa en formulaciones intramamarias de acción prolongada, diseñadas para mantenerse en la glándula mamaria por más tiempo que los productos empleados durante la lactancia. Su objetivo curativo es eliminar las infecciones existentes al momento del secado, mientras que su función preventiva busca evitar que se desarrollen nuevas. Esta doble finalidad le otorga gran relevancia sanitaria, aunque también genera preocupación cuando se aplica de forma generalizada a ejemplares sin evidencia de afección (Okello et al., 2023).

La selección de las vacas puede apoyarse en los antecedentes de mastitis clínica, el recuento de células somáticas, la prueba de California, los cultivos microbiológicos y la información sanitaria del rebaño. Un valor igual o superior a 200 000 células/mL se utiliza frecuentemente como criterio indicativo de una posible infección intramamaria, aunque la decisión no debe depender exclusivamente de este resultado. También deben considerarse la prevalencia de mastitis, los patógenos circulantes y las condiciones de higiene de cada explotación (Okello et al., 2023).

En su investigación, Okello et al. (2023) analizaron 566 aislamientos procedentes de 382 vacas, recolectados antes y después del secado. En el grupo de estafilococos coagulasa negativos se detectó un 72 % de resistencia a sulfadimetoxina y un 28 % a penicilina; por su parte, los coliformes presentaron un 70 % de resistencia a sulfadimetoxina, 56 % a cefalotina y 43 % a tetraciclina. El estudio concluyó que la administración intramamaria durante el secado estuvo asociada con modificaciones en los perfiles de resistencia después del parto, lo que respalda la necesidad de seleccionar únicamente a los animales que requieren tratamiento (Okello et al., 2023).

7.2.5. Terapia de secado en manto y terapia de secado selectiva

La terapia de secado en manto: denominada blanket dry cow therapy (BDCT), se define como la aplicación de antimicrobianos intramamarios a todas las vacas al finalizar la lactancia, sin distinción de su estado sanitario. Por ende, busca curar infecciones existentes y prevenir nuevas infecciones durante el periodo seco. No obstante, esta práctica implica administrar farmacos a

vacas o cuartos mamarios sanos, lo que incrementa la exposición general del rebaño y puede intensificar la presión de selección de bacterias resistentes (Kabera et al., 2021).

La terapia de secado selectiva: denominada selective dry cow therapy (SDCT), limita el uso de estos medicamentos solo solamente a animales o cuartos mamarios que presentan evidencia de infección o con mayor riesgo de contraerla. La selección se apoya en cultivos microbiológicos, recuento de células somáticas, antecedentes de mastitis clínica y registros sanitarios. Los cuartos considerados sanos pueden protegerse en selladores intermamarios que actúan como barrera física frente a la entrada de microorganismos, sin necesidad de utilizar antibióticos.

Kabera et al. (2021) revisaron 13 artículos de cuales eran 12 ensayos y determinaron que la SDCT redujo el consumo de antimicrobianos en un 66 % respecto a la estrategia universal. Cuando los cuartos sanos se protegieron con sellador, no se hallaron diferencias significativas entre BDCT y SDCT en cuanto a nuevas infecciones, casos de mastitis clínica, volumen de producción ni recuento celular. Por el contrario, al prescindir de este recurso preventivo, el riesgo de infección durante el periodo seco se duplicó en el grupo con terapia selectiva (Kabera et al., 2021).

Paiva et al. (2024) evaluaron 1 360 vacas distribuidas entre dos programas de SDCT y un grupo de BDCT. Los antimicrobianos fueron administrados al 51,3 % y al 24,7 % de las vacas seleccionadas mediante los dos algoritmos, frente al 100 % de las vacas sometidas a terapia en manto. A pesar de esta reducción, la incidencia de mastitis clínica fue semejante entre los grupos: 19,6 %, 19,4 % y 21,4 %, respectivamente. Tampoco se encontraron diferencias significativas en la producción de leche, el recuento de células somáticas ni el riesgo de descarte (Paiva et al., 2024a).

Estos hallazgos confirman que la SDCT permite reducir sustancialmente el uso de antimicrobianos sin afectar la salud mamaria, siempre que se apliquen criterios de selección confiables y medidas preventivas complementarias. Desde la perspectiva de Una Salud, la eliminación de tratamientos innecesarios disminuye la presión selectiva, la probabilidad de residuos en la leche y la liberación de fármacos o bacterias resistentes al entorno (Paiva et al., 2024).

7.2.6. Selladores internos de pezón como alternativa no antimicrobiana

Los selladores internos de pezón son productos no antimicrobianos introducidos en el canal del pezón al finalizar la lactancia. Suelen contener subnitrato de bismuto y genera una barrera física similar al tapón natural de queratina, impidiendo el ingreso de microorganismos durante el periodo reposo. Una revisión sistemática demostró que su uso disminuye la frecuencia de nuevas infecciones intramamarias durante el periodo seco y la mastitis clínica en los primeros 30 días del ciclo de lactancia (Pearce et al., 2023).

En los esquemas de terapia selectiva, estos productos pueden aplicarse sin asociación de antibióticos a las vacas consideradas libres de infección. La decisión debe basarse en antecedentes clínicos, análisis microbiológicos y recuentos de células somáticas. En un estudio realizado en 21 rebaños lecheros que incluyó 2 074 vacas, se consideró que los animales con un CCS inferior a 200 000 células/mL tenían menor probabilidad de presentar una infección intramamaria y podían ser evaluados para recibir únicamente el sellador interno (Teagas, 2023).

La aplicación de los selladores requiere condiciones estrictas de higiene, debido a que la introducción accidental de bacterias puede causar una mastitis grave. Antes de su administración se deben utilizar guantes limpios, desinfectar completamente el extremo del pezón e introducir parcialmente la cánula, sin masajear el producto hacia la glándula mamaria. El personal también debe recibir capacitación para retirar correctamente el sellador después del parto y evitar su presencia en la leche (AHDB, 2024)

El empleo de selladores en animales sanos permite prevenir infecciones sin ampliar la exposición a fármacos antimicrobianos, contribuyendo a reducir tanto la presión de selección de resistencia como el riesgo de residuos en el producto. No obstante, estos compuestos no erradican infecciones ya establecidas, por lo que no sustituyen el tratamiento farmacológico en animales afectados y deben integrarse a prácticas de higiene, monitoreo y manejo sanitario general (Potter et al., 2023).

7.2.7. Métricas para cuantificar el uso de antimicrobianos

DDDvet - Dosis diaria definida veterinaria

La dosis diaria definida veterinaria (defined daily dose for animals, DDDvet) corresponde a la cantidad promedio de mantenimiento de un antimicrobiano calculado por kilogramo de peso vivo y por día, tomando en cuenta la especie animal y vía de administración. Esta medida permite analizar el número de dosis diarias utilizadas y comparar el consumo entre explotaciones, periodos o poblaciones animales. Se trata de una referencia técnica uniforme que no representa necesariamente la dosis exacta prescrita a cada bovino (Medicines Agency, 2025).

DCDvet - Dosis de curso definida veterinaria

La dosis de curso definida veterinaria (defined course dose for animals, DCDvet) se define como la cantidad promedio de un necesaria para completar un ciclo de tratamiento en una espec requerida para complementar un esquema terapéutico en una especie animal concreta. A diferencia de la DDDvet, que cuantifica el consumo diario, la unidad permite estimar el número total de ciclos de tratamientos completos aplicados. Su empleo facilita la comparación entre pautas de distinta duración, si bien los resultados deben analizarse tomando en cuenta la patología atendida, la dosis realmente utilizada y las particularidades de los ejemplares tratados (Medicines Agency, 2023).

mg/PCU - Miligramos por unidad de corrección poblacional

La métrica mg/PCU cuantifica los miligramos de principio activo antimicrobiano empleados o comercializados por cada unidad de corrección poblacional (*population correction unit*). La PCU estima la biomasa total de animales que podrían recibir tratamiento, de modo que cada unidad equivale aproximadamente a un kilogramo de peso vivo. Esta referencia posibilita comparar el nivel de consumo entre naciones o grupos de distinto tamaño; sin embargo, no revela directamente la cantidad de ejemplares intervenidos, las patologías tratadas ni la duración de los esquemas terapéuticos aplicados (Medicines Agency, 2023)

CCS - Conteo de células somáticas

El conteo de células somáticas (CCS) mide la cantidad de células presentes en un mililitro de leche construyendo un indicador clave para evaluar el estado sanitario de la glandula mamaria

y detectar casos de mastitis subclínica. Habitualmente, un valor igual o superior a 200 000 células/mL se considera una señal de posible señal de posible infección intramamaria. Este parámetro, sumado de los antecedentes clínicos y los cultivos microbiológicos, sirve de base para definir que ejemplares requieren antimicrobianos durante el secado (Thompson et al., 2023).

Las métricas DDDvet, DCDvet, mg/PCU y CCS aportan información complementaria, pero no son intercambiables: la DDDvet aproxima el número total de ciclos terapéuticos completos, estima los días de tratamiento; mg/PCU vincula la cantidad de principio activo de biomasa animal; y CCS actúa como indicador de la salud mamaria. Por ello, cualquier comparación entre explotaciones o países deben tomar en cuenta diferencias en peso vivo, dosis prescritas, duración de los tratamientos, vías de administración y sistemas de registro. La integración de estos indicadores permite relacionar el consumo de antimicrobianos con la situación sanitaria del rebaño y evaluar si su utilización responde a una necesidad terapéutica real (Mahdy & Mohamed, 2022)

Tabla 2.

Definiciones operativas para la revisión.

Sigla/término	Significado	Aplicación en la revisión
RAM/AMR	Resistencia antimicrobiana	Resultado central relacionado con el uso de antimicrobianos
OH	*One Health* o Una Sola Salud	Marco de análisis de la interacción animal-humano-ambiente
Resistoma	Conjunto de genes de resistencia antimicrobiana	Evaluación ambiental y microbiológica
Uso terapéutico	Tratamiento de animales enfermos	Tratamiento de la mastitis clínica
Uso metafiláctico	Tratamiento grupal cuando existen animales enfermos y otros presentan un riesgo elevado	Enfermedades infecciosas en sistemas lecheros

Uso profiláctico	Prevención de una infección específica en animales aparentemente sanos	Terapia de secado en manto
BDCT	*Blanket dry cow therapy* o terapia de secado en manto	Uso preventivo generalizado de antimicrobianos al secado
SDCT	*Selective dry cow therapy* o terapia de secado selectiva	Uso dirigido y reducción del consumo de antimicrobianos
DDDvet	Dosis diaria definida veterinaria	Estimación de las dosis diarias administradas
DCDvet	Dosis de curso definida veterinaria	Estimación del número de tratamientos completos
mg/PCU	Miligramos de antimicrobiano por unidad de corrección poblacional	Comparación del consumo según la biomasa animal
CCS	Conteo de células somáticas	Criterio para mastitis subclínica y selección al secado
MRL/LMR	Límite máximo de residuos	Evaluación de la inocuidad de la leche
ARGs	Genes de resistencia antimicrobiana	Estudio de la diseminación ambiental del resistoma

Fuente: Elaboración propia a partir de las definiciones operativas y fuentes científicas e institucionales revisadas.

7.3. Patrones de uso antimicrobianos en mastitis y terapia de secado

7.3.1. Antimicrobianos utilizados en mastitis clínica

Los fármacos utilizados para atender la mastitis clínica pertenecen mayoritariamente al grupo de los betalactámicos, entre ellos penicilinas, amino penicilinas y cefalosporinas, además de lincosamidas y otras combinaciones autorizadas para uso intramamario. La elección del principio activo debe basarse en la gravedad del cuadro, el agente casual identificado y los antecedentes sanitarios del ejemplar. Considerar la gravedad del caso, el agente causal y los antecedentes sanitarios del animal. Al respecto, Timonen et al. (2021) analizaron 11 420

intervenciones realizadas a 8 554 vacas de 43 explotaciones y determinaron que la selección del medicamento depende del diagnóstico establecido, las características propias del rebaño y pautas de prescripción profesional (Timonen et al., 2022).

En casos leves y moderados, el tratamiento intramamario suele ser suficiente cuando se confirma una bacteria grampositiva susceptible. Por el contrario, algunos episodios provocados por bacterias gramnegativas o aquellos sin crecimiento bacteriano demostrando pueden resolverse mediante el sistema inmunitario y tratamientos de apoyo, sin necesitar antibióticos. Por ello, se debe evitar el empleo automático de antimicrobianos evaluando siempre la gravedad, el microorganismo y la probabilidad de curación (Carolina Pinzon, 2025)

7.3.2. Antimicrobianos utilizados en mastitis subclínica

Esta forma de presentación no genera alteraciones visibles en la leche o la ubre y se identifica mediante el conteo de células somáticas, la prueba de California y el cultivo microbiológico. No siempre es conveniente iniciar tratamiento durante la lactancia, ya que la tasa de curación depende del patógeno y puede ocasionar descarte de leche. Una situación particular corresponde a las infecciones causadas por Streptococcus agalactiae, para las cuales han registrado tasas de recuperación entre el 75 % y el 90 % al ejemplar formaciones intramamarias con penicilinas, amoxicilina o cefalosporinas (MSD Veterinary Manual, 2024).

La decisión terapéutica debe considerar el microorganismo aislado, la duración estimada de la infección, el número de lactancias, antecedentes de clínicos y la posibilidad de transmisión dentro del rebaño. Roșu et al. (2025) evaluaron muestras de 117 vacas con mastitis subclínica y concluyeron que la identificación bacteriana y las pruebas de sensibilidad son indispensables para elegir un tratamiento eficaz, dado que la susceptibilidad varía entre especies y explotaciones (Roșu et al., 2026a).

7.3.3. Antimicrobianos utilizados durante la terapia de secado

En esta etapa se aplican formulaciones intramamarias de acción prolongada, basadas principalmente de cloxacilina, cefalonio, cefapirina, penicilina o combinaciones con novobiocina. Están diseñadas para mantener concentraciones efectivas por más tiempo que los productos empleados durante la lactancia. formulaciones utilizadas en lactancia, aunque se efectividad

depende del agente causante. Sin embargo, Müller et al. (2023) hallaron que el tratamiento presentó un efecto significativo sobre la curación especialmente en infecciones ocasionadas por estreptococos y otras bacterias grampositivas, lo que indica que no todas las infecciones se benefician de la misma manera (Müller et al., 2023).

7.3.4. Vías de administración en bovinos lecheros

7.3.4.1.Administración intramamaria

Consiste en introducir el fármaco directamente en el cuarto mamario afectado a través del conducto del pezón. Permite alcanzar concentraciones elevadas en el tejido diana y limita la exposición sistémica. No obstante, su eficacia puede disminuir ante inflamación intensa, obstrucción de conductos o afecciones profundas. Además, una aplicación sin higiene rigurosa puede introducir nuevos agentes patógenos, por lo que es obligatorio limpiar y desinfectar completamente el pezón antes de la inserción de la cánula(Ban-Cucerzan et al., 2026).

7.3.4.2.Administración sistemática

Comprende principalmente las vías intramuscular, subcutánea e intravenosa, mediante las cuales el fármaco se distribuye por el organismo antes de llegar a la glándula mamaria. Se reserva para casos graves acompañados de fiebre, deshidratación, anorexia, alteraciones generales o riesgo de septicemia. En cuadros no complicados, la asociación rutinaria de tratamiento sistémico e intramamario no siempre mejora los resultados y puede incrementar innecesariamente la presión selectiva (Caio Figueiredo, 2025b)

7.3.5. Uso empírico y uso basado en diagnostico microbiológico

El uso empírico consiste en iniciar el tratamiento basándose en signos clínicos, experiencia previa y patógenos habituales del hato, sin contar aún con la identificación del agente causal. Por el contrario, el enfoque fundamentado en diagnóstico utiliza cultivos de leche y pruebas de sensibilidad cuando corresponde. Rico et al. (2024) sostienen que la intervención selectiva permite reducir el consumo de antimicrobianos sin afectar la producción ni la salud animal, siempre que se integren los resultados de laboratorio, la gravedad del cuadro y los antecedentes del ejemplar (Rico et al., 2024).

Los cultivos realizados en la propia explotación pueden entregar resultados preliminares entre 24 y 48 horas, diferenciando infecciones por bacterias grampositivas, gramnegativas o sin crecimiento aparente. Esto permite destinar los antibióticos a los casos con mayor probabilidad de respuesta. No obstante, su fiabilidad depende de la calidad de la muestra, la capacitación del personal y la correcta interpretación; los resultados dudosos deben confirmarse en laboratorio especializado (Garcia et al., 2026).

7.3.6. Diferencia entre indicación terapéutica y profiláctica

La indicación terapéutica se refiere al uso de antimicrobianos para atender una infección confirmada, ya sea clínica o subclínica. En cambio, la indicación profiláctica tiene como finalidad evitar la aparición de enfermedad en animales sin evidencia de infección. Aplicado al secado: tratar una vaca con infección comprobada constituye un uso terapéutico; administrar el fármaco a todos los ejemplares incluyendo los sanos se considera una medida profiláctica generalizada. Obritzhauser et al. (2020) señalan que, bajo el enfoque de Una Salud, los antibióticos de secado deben limitarse a animales con infección confirmada o riesgo elevado, ya que su uso rutinario aumenta la presión de selección de resistencia (Obritzhauser et al., 2020).

7.3.7. Factores de finca que condicionan el uso antimicrobiano

7.3.7.1. Registros sanitarios y productivos

Permiten identificar qué animales recibieron tratamiento, qué fármaco se utilizó, dosis, vía, duración, motivo y tiempos de retiro. Asimismo, facilitan la detección de casos recurrentes y el seguimiento del consumo. Martin et al. (2024) identificaron que la falta de tiempo, registros incompletos y dificultades con herramientas digitales constituyen barreras para la documentación; por el contrario, el uso de sistemas electrónicos y el acompañamiento veterinario favorecen registros más completos (Martin et al., 2024).

7.3.7.2. Acceso a cultivo bacteriológico

La disponibilidad de análisis condiciona la posibilidad de adaptar el tratamiento al agente causal. Las explotaciones sin acceso a laboratorios o pruebas rápidas recurren con mayor frecuencia a pautas empíricas y generales. Creytens et al. (2026) observaron que, aunque los

productores reconocen su importancia, el cultivo no se realiza habitualmente, debido a costos, tiempos de respuesta, transporte de muestras y falta de capacitación (Creytens et al., 2026).

7.3.7.3. Conteo de células somáticas

Es un indicador clave para vigilar la salud mamaria, detectar mastitis subclínica y definir intervenciones en el secado. Valores superiores a 200 000 células/mL aumentan la probabilidad de infección, pero no identifican por sí solos el patógeno. Fernandes et al. (2021) indican que la mastitis subclínica con recuentos elevados afecta negativamente la producción, por lo que este parámetro debe analizarse junto a cultivos, antecedentes y mediciones seriadas (Fernandes et al., 2021).

7.3.7.4. Tamaño de hato y sistema de manejo

El número de ejemplares influye en recursos humanos, sistemas de registro, protocolos escritos, asesoría y capacidad de separación de animales tratados. En un estudio con 113 explotaciones, aquellas con 1 304 vacas o más presentaron seis veces mayor probabilidad de reducir el uso de antimicrobianos sin receta; además, el 84 % de sus responsables mostró conocimientos buenos o excelentes en gestión de fármacos. No obstante, hatos de mayor tamaño también pueden favorecer la transmisión de patógenos si fallan la higiene y la bioseguridad (Abdelfattah et al., 2022).

7.3.7.5.Asesoría veterinaria y cumplimiento de protocolos

Permite establecer criterios de diagnóstico, elegir principios activos, ajustar dosis y definir tiempos de retiro. También facilita la elaboración de pautas escritas para mastitis, terapia de secado y seguimiento. Skjølstrup et al. (2021) destacan que el vínculo continuo entre profesional y productor favorece la prevención y decisiones basadas en información real del hato, aunque su efectividad depende de la comunicación, frecuencia de visitas y apego a las normas (Skjølstrup et al., 2021).

Tabla 3.

Patrones de uso antimicrobiano en mastitis y terapia de secado

Escenario	Tipo de uso	Vía frecuente	Criterio de decisión	Riesgo asociado
Mastitis clínica	Terapéutico	Intramamaria o sistémica	Signos clínicos, cultivo microbiológico y severidad	Residuos en la leche, presión selectiva y tratamientos innecesarios
Mastitis subclínica	Terapéutico o estratégico	Intramamaria	CCS, cultivo microbiológico e historial del cuarto mamario	Uso innecesario si no existe diagnóstico o baja probabilidad de curación
Terapia de secado en manto	Profiláctico	Intramamaria	Aplicación a todas las vacas al finalizar la lactancia	Exposición de animales sanos y aumento de la presión selectiva
Terapia de secado selectiva	Terapéutico o preventivo dirigido	Intramamaria	CCS, cultivo e historial de mastitis	Requiere registros completos y criterios confiables de selección
Sellador interno de pezón	Preventivo no antimicrobiano	Intramamaria	Ausencia de infección y riesgo de nuevas infecciones durante el periodo seco	No genera presión antimicrobiana directa, pero una aplicación sin higiene puede introducir bacterias

Nota: CCS: conteo de células somáticas. ***Fuente:*** Elaboración propia a partir de las fuentes científicas e institucionales analizadas.

7.4. Resistencia antimicrobiana en patógenos de mastitis y bacterias indicadoras

7.4.1. Patógenos contagiosos de mastitis

Los agentes patógenos de transición contagiosos habitan principalmente en la glándula mamaria o en la piel del pezón y se transmiten entre ejemplares durante el proceso del ordeño. La propagación se produce a través de las manos del personal, las pezoneras, los paños compartidos

y otros utensilios pueden intervenir en su diseminación. Entre los principales representantes de este grupo se encuentran *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* y *Mycoplasma bovis*, mientras que *Corynebacterium bovis* se considera un patógeno contagioso de menor gravedad (Nemati et al., 2023).

7.4.1.1.Staphylococcus aureus

Staphylococcus aureus constituye uno de ellos agentes contagiosos más relevantes en la mastitis bovina. Tiene la capacidad de adherirse al tejido mamario, penetrar capas profundas de la glándula mamaria y formar biopelículas que obstaculicen la acción de los fármacos antimicrobianos. Estas características favorecen infecciones persistentes o recurrentes, especialmente en vacas de varias lactancias. En un estudio europeo de 211 aislamientos bovinos se determinó que las características genéticas de las cepas influyeron en su capacidad de transmisión, persistencia y resistencia dentro de los hatos (Nemati et al., 2023).

La resistencia de este microorganismo se manifiesta principalmente frente a penicilinas y otros betalactámicos, aunque también puede afectar tetraciclinas, macrólidos, lincosamidas, quinolonas y aminoglucósidos. Un metaanálisis llevado a cabo en China registro niveles de resistencia combinada del 50,68 % a betalactámicos, 36,23 % a quinolonas, 34,08 % a macrólidos, 32,25 % a sulfonamidas y 27,83 % a tetraciclinas. La detección de cepas resistentes a la meticilina agrava la preocupación sanitaria , ya que refringe las alternativas y puede representar un riesgo de transmisión entre animales y personas (Huang et al., 2024).

7.4.1.2.Streptococcus agalactiae

Streptococcus agalactiae se establece principalmente la glándula mamaria y se propaga entre ejemplares a través de la leche contaminada y los equipos de ordeño. Provocando la mastitis clínica o subclínica, incrementando el recuento de células somáticas y puede permanecer durante varios meses en un rebaño. Sin embargo, Wataradee et al. (2023) analizaron 100 aislamientos provenientes de 13 explotaciones y encontraron que algunas cepas podían persistir entre 2 y 12 meses, lo que resalta la necesidad de diagnosticar, tratar y controlar simultáneamente las fuentes de transmisión (Wataradee et al., 2023).

Si bien este microorganismo suele conservar susceptibilidad a los betalactámicos, pueden encontrarse diferencias entre regiones y clases farmacológicas. En el estudio mencionado, el 99 % de los aislamientos fue susceptible a penicilina y eritromicina y el 98 % a ceftiofur; sin embargo, el 33 % presentó resistencia a tetraciclina y el 50 % a sulfadimetoxina. Por su parte, una revisión que incluyó datos de 7 073 vacas registro que la prevalencia de mastitis asociada con diferentes especies de Streptococcus varió entre el 1 % y el 26 %, con predominio de S. agalactiae y S. uberis (Fenta et al., 2025).

7.4.1.3. Mycoplasma bovis

Es un patógeno que puede producir mastitis grave, disminuir la producción y afección simultánea de varios cuartos mamarios. Su transmisión ocurre durante el ordeño y también mediante secreciones respiratorias, animales portadores o leche contaminada suministrada a terneros. En Estados Unidos, las pérdidas económicas derivadas de esta infección se han estimado en más de 100 millones de dólares anuales y, en algunos rebaños afectados, la tasa de eliminación de vacas puede alcanzar hasta el 70 % (Gelgie et al., 2024).

Al carecer de pared celular, este microorganismo presenta resistencia natural a penicilinas, cefalosporinas y otros betalactámicos. Asimismo, se ha registrado una disminución progresiva de la susceptibilidad frente a macrólidos, tetraciclinas y fluoroquinolonas. Dado el límite efecto terapéutico disponible y la ausencia de una vacuna comercial totalmente eficaz, las estrategias del control se centran en el diagnóstico oportuno, aislamiento, descarte de leche, segregación o eliminación de animales infectados y revisión de las prácticas de ordeño (Andrew, 2024).

7.4.1.4.Corynebacterium bovis

Es un agente contagioso de menor gravedad que coloniza fundamentalmente el conducto del pezón. Generalmente se ocasiona por causa de la mastitis subclínica, incremento moderado del CCS y una disminución limitada de la producción. Su propagación se relaciona con fallas en la desinfección posterior al ordeño. Por ello, la aplicación adecuada de desinfectantes y la adecuada limpieza del equipo de trabajo disminuyen considerablemente el riesgo de nuevas infecciones (Christina S. Petersson-Wolfe, 2026)

La detección de esta bacteria debe analizarse en conjunto con el recuento de células somáticas y el historial sanitario del animal, debido a que no es necesariamente realizar tratamientos durante la lactancia. Mediante estudios realizados de muestras de leche con mastitis los microorganismos de genero Corynebacterium contienen el 15,8 % de las bacterias identificadas. Aunque la intervención durante el periodo de secado puede facilitar la eliminación, las decisiones deben centrarse en mejorar las prácticas de manejo y evitar administrar fármacos cundo no sea estrictamente necesario (H. J. Kang et al., 2024).

En lo que respecta a Salmonella spp. no se considera un patógeno contagioso característico de la mastitis, ya que su habitad natural se vincule principalmente al tracto digestivo, el estiércol, los alimentos, el agua y la fauna silvestre. Si bien puede causas casos aislados de inflamación mamaria o contaminar la leche, su mayor relevancia radica en la salud intestinal, la inocuidad alimentaria y el riesgo de transmisión a otras especies. En explotaciones lecheras, el riesgo de brotes de salmonelosis puede aumentar aproximadamente un 20 % por cada 100 vacas adicionales y hasta seis veces cuando se aplican al suelo volúmenes elevados de efluentes, lo que demuestra su asociación con factores ambientales y de manejo (Chris Compton, 2021).

7.4.2. Patógenos ambientales de mastitis

Los agentes ambientales se encuentran en las camas, suelo, agua, estiércol, corrales y superficies con las que entra en contacto la urbe. La infección se produce cuando estos microorganismos penetran por el conducto del pezón, especialmente en los intervalos entre ordeños, durante el periodo seco o cerca del parto. Su prevención depende fundamentalmente de mantener la limpieza, reducir la humedad, gestionar adecuadamente los materiales de la cama, ventilación y preparación de los pezones antes del ordeño (Cornell University, 2024).

7.4.2.1. Escherichia coli

Es una bacteria gramnegativa que forma parte de la flora habitual del intestino y las geces del bovino. Puede contaminar camas, agua, equipos y superficies, desde donde alcanza el canal del pezón. La afección que provoca varía desde alteraciones leves mastitis en la leche hasta una enfermedad sistémica con fiebre, deshidratación, pérdida del apetito y endotoxemia. En los casos graves, el tratamiento de soporte resulta tan relevante como la administración de antimicrobianos (Xu et al., 2023).

Entre sus perfiles de interés destacan la resistencia a la ampicilina, tetraciclinas, sulfonamidas, aminoglucósidos, fluoroquinolonas y cefalosporinas. También es relevante la identificación de cepas productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE), capaces de inactivar distintos compuestos del grupo de los betalactámicos. En explotaciones lecheras de Tennessee se detectaron aislamientos de E. coli con estas características, lo que confirma que tanto los animales como el entorno de la finca pueden intervenir en el mantenimiento y la difusión de estos microorganismos resistentes (Gelalcha et al., 2023).

7.4.2.2. Streptociccus uberis

Se encuentra en las camas, heces, suelo, piel y materia orgánica. Por ende, puede incrementar la aparición de la mastitis durante la lactancia y el periodo de secado. Por ello, se agrupan como ambientales, algunas cepas pueden incluirse a la glándula mamaria y transmitirse entre vacas. En el norte de Alemania se ha reportado que este microorganismo participa aproximadamente en el 20,2 % de los casos de mastitis analizados (Hillebrand et al., 2026).

La resistencia de S. uberis se presenta frente a tetraciclinas, macrólidos y lincosamidas, mientras que numerosos aislamientos mantienen susceptibilidad a penicilinas. Sin embargo, la respuesta terapéutica depende de lo que dure la infección formando biopelículas y ubicación de las bacterias en el tejido mamario. La mastitis aparece al inicio de la lactancia puede relacionarse con infecciones adquiridas durante el periodo seco, lo que refuerza la importancia del manejo ambiental antes del parto (Nitz et al., 2021).

7.4.2.3. Klebsiella spp.

Las especies Klebsiella pneumoniae y Klebsiella oxytoca están relacionadas con camas orgánicas, aserrín, estiércol, agua y superficies húmedas. Estas pueden incrementar la mastitis clínica grave, pérdida de producción, descarte de leche y eliminación anticipada del animal. Su identificación a nivel de especie resulta necesaria porque los perfiles de susceptibilidad no son iguales entre Klebsiella, Escherichia y otras enterobacterias (Pirner et al., 2024).

La resistencia puede afectar cefalosporinas, aminoglucósidos, fluoroquinolonas, tetraciclinas y combinaciones de betalactámicos. La producción de BLEE y la multirresistencia constituye los fenómenos más preocupantes. Para su prevención es indispensable reducir la

humedad, retirar el estiércol, renovar las camas y evitar el almacenamiento inadecuado de materiales orgánicos, el tratamiento por sí solo no resuelve el origen ambiental de la infección (Tomanić et al., 2022).

7.4.3. Bacterias indicadoras de resistencia antimicrobiana

Estos microorganismos permiten evaluar la presencia de resistencia en y entornos sin depender exclusivamente de la existencia de una enfermedad manifiesta. *E. coli* y *Enterococcus* spp. se utilizan ampliamente en sistemas de vigilancia porque forman parte de la flora intestinal, se pueden aislarse de forma regular y reflejan la exposición a distintas clases de antimicrobianos. Su monitoreo también facilita la comparación entre poblaciones y la detección de variaciones en el tiempo (ECDC - European Centre for Disease Prevention and Control, 2026).

7.4.3.1. Eschericha coli comensal

La E. coli que habita normalmente en el intestino de los bovinos se elimina continuamente a través las heces. Aunque no causa daño, puede adquirir genes de resistencia y actuar como reservorio para otros microorganismos. Su análisis en muestras fecales permite identificar resistencia a ampicilina, tetraciclinas, sulfonamidas, aminoglucósidos y fluoroquinolonas, así como la presencia de multirresistencia (Kerluku et al., 2023).

La resistencia no se distribuye de forma homogénea en toda explotación. En un estudio realizado en 18 fincas, los aislamientos obtenidos en corrales de animales enfermos presentaron 2,48 veces más probabilidades de resistencia a estreptomicina y 5,61 veces más probabilidades de resistencia a cloranfenicol, en comparación con muestras de vacas en plena lactancia. Esto indica que el estado sanitario, los tratamientos recientes y la concentración de animales modifican los perfiles de resistencia dentro del mismo rebaño (Garzon et al., 2024).

7.4.3.2. Enterococcus spp.

Enterococcus faecalis y Enterococcus faecium forman parte de la flora intestinal y pueden llegar a la leche por contaminación fecal. Su capacidad para sobrevivir en entornos diversos y adquirir elementos genéticos los convierte en indicadores útiles de resistencia en bacterias

grampositivas. En muestras de leche, heces y productos lácteos se han detectado perfiles de resistencia a tetraciclinas, macrólidos, aminoglucósidos y glucopéptidos (Morandi et al., 2024).

Destacan especialmente los aislamientos resistentes a la vancomicina por su relevancia a la medicina humana. En un estudio con muestras de leche y el estiércol de las vacas con mastitis subclínica, se encontró multirresistencia en el 20,6 % de los aislamientos procedentes de la leche y en el 6,8 % de los obtenidos del estiércol. El gen *vanA* (gen asociado con resistencia adquirida a la vancomicina y la teicoplanina) de detecto en el 96 % de los aislamientos de *Enterococcus faecalis* analizados. También se identificaron *tetM* (gen de protección ribosomal frente a las tetraciclinas) y *tetK* (gen que codifica una bomba de expulsión de tetraciclinas) (Ibrahim et al., 2022).

7.4.3.3.Staphylococcus coagulasa negativos

Estos macroorganismos forman parte de la flora habitual de la piel y el conducto del pezón , aunque algunas especies pueden provocar mastitis subclínica. Las más frecuentes son Staphylococcus chromogenes, S. epidermidis, S. haemolyticus y S. simulans. Ssu importancia ha aumentado, ya que en muchos casos superan potros agentes mamarios en frecuencia y pueden generar infecciones persistentes con incrementos moderados del CCS (Gelgie et al., 2024)

Además, funcionan como depósitos de genes de resistencia para otros estafilococos, incluido *Staphylococcus aureus*. Se han descrito perfiles resistentes a penicilina, meticilina, tetraciclinas, eritromicina y clindamicina, asociados con genes como *blaZ* (gen productor de betalactamasa, enzima que inactiva la penicilina), *mecA* (gen que confiere resistencia a la meticilina y otros antibióticos betalactámicos), *tetK* (gen que codifica una bomba de expulsión de tetraciclinas), *ermC* (gen que modifica el sitio de acción de macrólidos y lincosamidas) y *lnuA* (gen asociado con resistencia a lincosamidas, especialmente lincomicina y clindamicina). Por ello, no deben considerarse simplemente contaminantes cuando se aíslan repetidamente y se acompañan de un CCS (conteo de células somáticas) elevado. (Ibrahim et al., 2022).

7.4.4. Fenotipo de resistencia antimicrobiana

Los fenotipos corresponden a las características observables de una bacteria frente a uno o varios fármacos. Se determinan mediante pruebas de susceptibilidad, como la difusión en disco o

la concentración inhibitoria mínima, que clasifican los aislamientos como sensibles, intermedios o resistentes. En los agentes causantes de mastitis y bacterias indicadoras, los fenómenos más presentes afectan a betalactámicos, tetraciclinas, macrólidos, lincosamidas, sulfonamidas, trimetoprima, aminoglucósidos, fluoroquinolonas y glucopéptidos (Sweeney et al., 2024).

La resistencia a betalactámicos incluye la capacidad de sobrevivir a la acción de penicilinas, ampicilina, amoxicilina, oxacilina y determinadas cefalosporinas. Dentro de este grupo se encuentra la resistencia a meticilina en Staphylococcus aureus y estafilococos coagulasa negativos. También se incluye la producción de betalactamasas de espectro extendido en Escherichia coli y Klebsiella spp., mediante la cual estas bacterias pueden inactivar penicilinas y cefalosporinas de espectro ampliado. En muestras de leche cruda se ha registrado resistencia a meticilina en el 10,6 % de los aislamientos de S. aureus y en el 14,6 % de los estafilococos coagulasa negativos (Müller et al., 2023).

La resistencia a tetraciclinas se produce por mecanismos de expulsión del fármaco o la protección del ribosoma bacteriano. La resistencia a macrólidos, lincosamidas y estreptograminas B, conocida como fenotipo MLSB, se origina por alteraciones en el sitio de acción o por sistemas de expulsión relaciona con la modificación del sitio de acción o con mecanismos de expulsión. Asimismo, la resistencia a sulfonamidas y trimetoprima, está vinculada a cambios en la síntesis de ácido fólico; la de aminoglucósidos a modificaciones en la estructura del fármaco; y la resistencia a fluoroquinolonas, a alteraciones de enzimas responsables de la replicación del ADN (Flores et al., 2023).

Otro fenómeno relevante es la resistencia a glucopéptidos, especialmente a vancomicina en Enterococcus faecalis y Enterococcus faecium, debida a modificaciones en el sitio donde actúa el fármaco. Se considera multirresistente a toda bacteria que pierde sensibilidad frente a al menos un antimicrobiano de tres o más grupos distintos. Esta condición limita las opciones terapéuticas y favorece la permanencia de microorganismos resistentes en los animales, la leche y el entorno (Khasapane et al., 2026).

7.4.5. Genes de resistencia antimicrobiana

Los ARGs, (antimicrobial resistance genes), confieren a las bacterias mecanismo para evitar o reducir el efecto de los tratamientos. Pueden encontrase en el material genéticopropio o en elementos móviles como plásmidos, integrones y transposones, lo cual facilitan su traspaso de resistencia entre bacterias patógenas, comensales y ambientales presentes en los animales, la leche, el estiércol, el agua y el suelo (Sievers et al., 2025).

Entre los genes relacionados con betalactámicos destacan *blaZ* (gen productor de betalactamasa), que producen enzimas capaces de inactivar la penicilina en los estafilococos. Los genes *mecA* y *mecC* (genes de resistencia a la meticilina) codifican una PBP (penicillin-binding protein; proteína de unión a la penicilina) que generan resistencia a la meticilina, oxacilina y otros betalactámicos. También se incluyen *blaTEM*, *blaSHV* y *blaCTX-M* (familias de genes productores de betalactamasas), responsables de la producción de BLEE (betalactamasas de espectro extendido) en *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp. y otras enterobacterias (Ibrahim et al., 2022).

Para las tetraciclinas, los principales son *tetK* (gen que codifica una bomba de expulsión de tetraciclinas), que favorece la salida del medicamento de la célula bacteriana, y *tetM* (gen de protección ribosomal), que protege el ribosoma frente a la acción de estos antimicrobianos. Para los macrólidos y las lincosamidas se consideran *ermB* y *ermC* (genes que modifican el sitio de unión del antimicrobiano en el ribosoma bacteriano); *msrA* (gen relacionado con la expulsión y protección frente a macrólidos), y *lnuA* (gen que codifica una enzima capaz de inactivar lincosamidas). Los genes *sul1* y *sul2* (genes de resistencia a sulfonamidas) producen variantes de la enzima sobre la que actúan estos medicamentos, mientras que *dfrA* (familia de genes de resistencia a la trimetoprima) codifica un dihidrofolato reductasa con menor sensibilidad a este antimicrobiano (Nikolajenko et al., 2026).

Para la resistencia a quinolonas se incluyen *qnrA*, *qnrB* y *qnrS* (genes de protección frente a quinolonas), los cuales protegen la ADN girasa y la topoisomerasa IV, enzimas que intervienen en la replicación del ADN (ácido desoxirribonucleico) bacteriano. El gen *aac(6')-Ib-cr* (variante del gen que codifica un aminoglucósido acetiltransferasa) puede reducir la susceptibilidad a determinados aminoglucósidos y fluoroquinolonas, especialmente ciprofloxacina y norfloxacina. Por su parte, *vanA* y *vanB* (genes de resistencia adquirida a glucopéptidos) modifican el sitio de

acción de la vancomicina y se relacionan principalmente con la resistencia a este antimicrobiano en *Enterococcus* spp.; *vanA* suele conferir resistencia a vancomicina y teicoplanina, mientras que *vanB* se asocia principalmente con resistencia variable a vancomicina (Morandi et al., 2024).

La detección de un ARG demuestra que la bacteria posee un mecanismo potencial de resistencia, pero no confirma que el gen se encuentre activo. Asimismo, una bacteria puede mostrar resistencia en el antibiograma, aunque el gen investigado no sea detectado, debido a mutaciones u otros mecanismos. Por esta razón, los resultados genéticos deben analizarse conjuntamente con los fenotipos de susceptibilidad para establecer una relación adecuada entre el genotipo y la respuesta observada frente al antimicrobiano (Qi et al., 2025).

7.4.6. Asociación entre intensidad de uso antimicrobiano y resistencia de nivel de hato

La intensidad de uso antimicrobiano comprende la cantidad, frecuencia, duración y número de animales expuestos a los tratamientos. Una mayor intensidad puede aumentar la presión de selección y favorecer la supervivencia de bacterias resistentes; sin embargo, la relación varía según la clase farmacológica, vía de administración, edad de los animales y condiciones de manejo. Fonseca et al. (2023) encontraron que el uso sistémico estuvo asociado con resistencia de E. coli frente a nueve antimicrobianos y con una mayor presencia de multirresistencia (Fonseca et al., 2023).

La relación entre uso y resistencia no siempre puede demostrarse mediante un único muestreo, porque los genes pueden permanecer después de finalizar el tratamiento o ingresar a la finca mediante animales, agua, alimentos, trabajadores y equipos. También intervienen la bioseguridad, manejo del estiércol, alimentación con leche de descarte y separación de animales enfermos. Por ello, los estudios longitudinales permiten interpretar mejor los cambios temporales que los diseños transversales realizados en un solo momento (Werner et al., 2023).

La evaluación a nivel de hato debe integrar registros de tratamiento, DDDvet, DCDvet, mg/PCU, resultados de antibiogramas y presencia de ARGs. Esta información permite comparar la exposición con los perfiles de resistencia y determinar si las medidas de gestión reducen simultáneamente el consumo y la circulación de bacterias resistentes. La vigilancia canadiense

CaDNetASR fue desarrollada precisamente para medir de manera conjunta el uso, la resistencia y la salud animal en explotaciones lecheras(Dairy Farmers of Canada, 2024a).

Tabla 4.

Bacterias de interés para el análisis de resistencia antimicrobiana en lechería

Grupo bacteriano	Ejemplos	Fuente probable	Importancia en la revisión
Patógenos contagiosos	*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Mycoplasma bovis* y *Corynebacterium bovis*	Glándula mamaria, canal del pezón, leche y equipos de ordeño	Persistencia intramamaria, dificultades terapéuticas y transmisión entre vacas
Patógenos ambientales	*Escherichia coli*, *Klebsiella* spp. y *Streptococcus uberis*	Camas, estiércol, agua, suelo y ambiente de la finca	Relación con el manejo ambiental, mastitis clínica y exposición a bacterias resistentes
Bacterias indicadoras	*Escherichia coli* comensal y *Enterococcus* spp.	Intestino, heces, leche y ambiente	Vigilancia de la presión de selección y circulación de resistencia en el hato
Estafilococos coagulasa negativos	*Staphylococcus chromogenes*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus haemolyticus* y *Staphylococcus simulans*	Piel de la ubre, canal del pezón, leche y ambiente de ordeño	Mastitis subclínica y posible reservorio de genes de resistencia
Microbiota ambiental	Bacterias presentes en estiércol, suelo, agua y aguas residuales	Ambiente de la explotación lechera	Reservorio y posible vía de transferencia de genes de resistencia antimicrobiana
Bacterias zoonóticas o de importancia para la inocuidad	*Salmonella* spp. y *Escherichia coli* patógena	Heces, agua, alimentos, leche contaminada y ambiente	Riesgo para la inocuidad de la leche y posible transmisión hacia los seres humanos

Nota: *E. coli*: *Escherichia coli*. Los nombres científicos se escriben en cursiva. ***Fuente:*** Elaboración propia a partir de los patógenos, bacterias indicadoras y reservorios ambientales analizados.

7.5. Evidencia sobre uso terapéutico, uso preventivo y resistencia antimicrobiana

Nos indica el efecto mediante el uso de antimicrobiano debido a que la resistencia depende del tratamiento, en el microorganismo involucrado, el medicamento seleccionado, la vía de administración y la cantidad de animales expuestos. Este tratamiento está dirigido a una infección que no representa la misma presión de selección que la administración preventiva generalizada. Por ello, la resistencia se relaciona con exposiciones anteriores, como la circulación de bacterias dentro del rebaño y transferencia de genes entre los animales y el entorno (Kazemzadeh et al., 2025).

7.5.1. Uso terapéutico en mastitis clínica y patrones de resistencia

La finalidad del uso terapéutico es eliminar la mastitis, disminuir la inflamación y proteger el animal. En los casos leves o moderados se los trata por canal intramamario y en los casos graves acompañados de fiebre, deshidratación o signos sistémicos pueden requerir tratamiento parenteral y medidas de soporte. Estos se deben evaluar mediante la recuperación clínica, curación bacteriológica, disminución del CCS y ausencia de recurrencia, considerando que la desaparición de los signos no siempre implica la eliminación completa del patógeno (Achivie Better Milk Together, 2024).

Los patrones varían según el microorganismo y la clase farmacológica. Los estafilococos presentan con mayor frecuencia resistencia a penicilinas, tetraciclinas y macrólidos, mientras que las enterobacterias pueden mostrar resistencia a aminopenicilinas, sulfonamidas, quinolonas y cefalosporinas. La presencia de biopelículas, infecciones crónicas o bacterias intracelulares ayudan a eliminar la respuesta terapéutica, aun cuando se encuentre aislado se puede clasificar como susceptible en el laboratorio. Por ende, se debe basar en cultivos y pruebas de susceptibilidad ante las fallas del tratamiento (Askari et al., 2025).

Además, mediante el tratamiento selectivo se puede diferenciar los casos que probablemente se beneficiarán de los antimicrobianos. En caso de mastitis no gravesque son ocasionadas por bacterias grampositivas, el tratamiento puede estar indicado; en cambio, determinados casos con ausencia de crecimiento o bacterias gramnegativas pueden recuperarse sin antibióticos, dependiendo del estado del animal. Esta estrategia reduce la exposición sin abandonar

el tratamiento de las vacas que verdaderamente lo necesitan y debe acompañarse de seguimiento clínico y protocolos de rescate (Innovative Farmers, 2024).

7.5.2. Tratamiento de mastitis subclínica y presión de selección

La mastitis se distribuye por la ausencia de signos observables donde se identifican mediante CCS, en California se realizó una prueba de cultivo microbiológico. El tratamiento en la lactancia no resulta conveniente, debido al beneficio depende del agente causal, duración de la infección, edad de la vaca y probabilidad de curación. En las infecciones crónicas por Staphylococcus aureus, la respuesta puede ser limitada, mientras que Streptococcus agalactiae suele presentar una mayor probabilidad de curación. En sistemas con acceso limitado al diagnóstico, el tratamiento empírico puede aumentar la exposición sin garantizar un resultado favorable (Ghumman et al., 2026).

Tratar con antimicrobianos a vacas solo por presentar un recuento elevado de células somáticas puede generar presión de selección si dicho aumento responde a inflamaciones de origen no bacteriano, infecciones que se resuelven espontáneamente o agentes con escasa respuesta a los fármacos. Asimismo, esta práctica puede alterar el microbiota propio de la glándula mamaria y facilitar la permanencia de bacterias resistentes. Por ello, el recuento de células somáticas debe considerarse únicamente como una señal inicial, que debe complementarse con estudios microbiológicos, el historial clínico de cada cuarto mamario y un análisis de costos y beneficios antes de decidir iniciar cualquier tratamiento(Jiang et al., 2025).

El momento elegido para aplicar el tratamiento también influye en el nivel de exposición a los fármacos. En ciertos cuadros subclínicos, es posible retrasar la intervención hasta el periodo de secado: en esta etapa, las formulaciones de efecto prolongado permiten atender las infecciones presentes sin necesidad de descartar la leche destinada a la venta durante varios días. Aun así, esta estrategia exige vigilar el riesgo de contagio y confirmar que la vaca no desarrolle una forma clínica de la enfermedad. Por su parte, las opciones terapéuticas que no utilizan antimicrobianos siguen mostrando resultados heterogéneos, y la mayoría requiere mayor investigación y validación antes de poder sustituir con garantías a los tratamientos habituales (Li et al., 2023).

7.5.3. Terapia de secado en manto y resistencia antimicrobiana

Consiste en administrar fármacos intramamarios a la totalidad de las vacas al término de la lactancia, sin distinguir entre ejemplares que presentan infección y aquellos que no. Históricamente, esta estrategia permitió controlar agentes contagiosos y evitar nuevas afecciones durante el periodo seco en administrar antimicrobianos intramamarios a todas las vacas al finalizar la lactancia, sin diferenciar entre animales infectados y no infectados. No obstante, la mejora de prácticas higiénicas, control de mastitis y reducción del CCS han disminuido la proporción de vacas infectadas en muchos hatos, por lo que tratar al 100 % de los animales puede generar una exposición mayor que la requerida (Contiero et al., 2025).

Al aplicarse de forma generalizada puede aumentar el número de dosis utilizadas y expone el microbiota mamario de animales sanos. Donde suelen elegir las bacterias resistentes y favorecer cambios que se detecten luego del parto. Por ello, se incrementa el riesgo de errores de administración, residuos y descarte de leche cuando no se respetan los periodos de retiro. En rebaños con baja prevalencia de infecciones intramamarias, se ha investigado incluso el uso exclusivo de selladores internos en vacas sanas como alternativa a la terapia antimicrobiana en manto (Dziuba et al., 2023).

La influencia de esta práctica sobre la resistencia no es igual para todos los microrganismos. Puede generar selección temporal en agentes que habitan en glándulas o el entorno, mientras que otros perfiles dependen de exposiciones sistémicas anteriores. Por esta razón, el análisis debe considerar que antimicrobiano se utilizado, antes y después del secado, la presencia de ARGs y el manejo ambiental de la explotación (Firth et al., 2022).

7.5.4. Terapia de secado selectiva y reducción del uso antimicrobiana

Mediante la terapia de secado se administran antibióticos a los ejemplares que contiene evidencia de infecciones o de mayor riesgo. Esta selección se puede realizar mediante cultivos, CCS, antecedentes de mastitis y registros sanitarios. En un análisis que se aplicó mediante la su implementación produjo una reducción promedio del 22 % en el consumo total de antimicrobianos destinados a la salud de la ubre, sin visualizar algún deterioro de indicadores de salud mamaria (Lipkens et al., 2023).

La reducción depende del algoritmo que se aplicó y de la prevalencia de infecciones en el rebaño. Mediante programas evaluados la terapia selectiva permitió disminuir aproximadamente un 55 % el uso de antibióticos al secado sin afectar negativamente la dinámica de infecciones, la salud de la siguiente lactancia o el rendimiento productivo. En conclusión, se obtuvieron registros suficientes de rebaños mediante el uso de selladores internos para proteger los cuartos que no recibieron antimicrobianos (University Minesota, 2021).

Al encontrar reducción se puede ver perjudicado los beneficios económicos, debido a la disminución de la cantidad de tubos intramamarios utilizados. Mediante el análisis 37 rebaños lecheros estimaron por adoptar un programa selectivo que podía reducir los costos directos del secado y evitar aplicaciones innecesarias. No obstante, los beneficios económicos deben compararse con los costos de cultivos, selladores, registro de información y capacitación del personal (Leite de Campos et al., 2024).

7.5.5. Comparación entre estrategias terapéuticas y profilácticas

Estas estrategias se dirigen a animales que contienen una infección identificada, asimismo, las profilácticas se administran a animales que se encuentran sanos para prevenir enfermedad. El tratamiento terapéutico se basa en el diagnostico que concentra la exposición en los casos que pueden beneficiarse. En contraste, la profilaxis generalizada, como la terapia de secado en manto, aumenta la cantidad de animales que se verían expuestos y puede ejercer una mayor presión de selección. La terapia selectiva ocupa una posición intermedia porque combina el tratamiento de infecciones existentes con medidas preventivas no antimicrobianas (Ut et al., 2025a).

Al comparar no se debe limitar al número de dosis utilizadas. Se puede considerar la curación bacteriológica, como la aparición de nuevas infecciones, mastitis clínica en la siguiente lactancia, CCS, producción, descarte de animales y costos. Al cambiar una estrategia se realiza una selectividad sin afectar la salud mamaria cuando existen cultivos rápidos, criterios adecuados de selección, selladores internos y monitoreo después del parto (Barkema, 2023).

Desde el enfoque One Health, es preferible contar con una estrategia que proteja el bienestar del animal y, al mismo tiempo, utilizar la menor cantidad de antimicrobianos. Esto significa que no se debe negar el tratamiento a una vaca enferma para reducir estadísticas de

consumo, tampoco administrar antibióticos a animales sin alguna justificación sanitaria. Para prevenir enfermedades se debe prevenir la higiene, bioseguridad, vacunación, selladores y manejo de camas (FDA, 2025)

7.5.6. Limitaciones metodológicas de la evidencia disponible

Una limitación importante es la heterogeneidad entre estudios. Mediante las investigaciones se pueden emplear las definiciones de mastitis, puntos de corte de CCS, métodos de cultivo, paneles de antimicrobianos y criterios para agrupar la resistencia. Por ello, existen diferencias en razas, tamaño de los rebaños, sistemas productivos y medicamentos autorizados. En australiana se encontró un número reducido de estudios de resistencia y variaciones relacionadas con la edad y condición sanitaria de los animales, lo que restringe la generalización de los resultados (Tree et al., 2024).

En un momento la limitación es el predominio de diseños transversales, que miden el uso y la resistencia. Mediante estudios se puede estimar prevalencias, donde tienen una capacidad limitada para demostrar que una exposición específica produjo la resistencia visualizada. (Jacobsen et al., 2025).

Finalmente, al aplicar el tratamiento en la fica se logra detectar el fenotipo resistente, y la presencia de un ARG donde no se confirma que se encuentre expresado. La resistencia puede ingresar al comprar los animales , en los trabajadores, fauna silvestre, agua o alimentos. Por ello, los estudios longitudinales registros de consumo, antibiogramas, análisis genéticos y muestras animales y ambientales para entender la relación del uso terapéutico, profilaxis y resistencia dentro del enfoque One Health (Neculai-Valeanu et al., 2024).

Tabla 5.

Comparación entre estrategias terapéuticas y preventivas utilizadas en bovinos lecheros

Estrategia	Tipo de uso	Efecto esperado sobre el uso antimicrobiano	Efecto esperado sobre RAM/AMR
Tratamiento de mastitis clínica	Terapéutico	Dirige el tratamiento a vacas enfermas; el cultivo permite evitar tratamientos en casos sin crecimiento o con baja probabilidad de respuesta	Variable según el microorganismo, molécula, dosis, duración y diagnóstico
Tratamiento de mastitis subclínica	Terapéutico o estratégico	Puede aumentar el consumo si se trata únicamente por un CCS elevado, sin confirmar la infección	Riesgo de presión selectiva y alteración de la microbiota mamaria
Terapia de secado en manto	Profiláctico generalizado	Produce una exposición elevada porque se trata al 100 % de las vacas y cuartos mamarios al secado	Mayor presión selectiva potencial por exposición de animales infectados y sanos
Terapia de secado selectiva	Terapéutico o preventivo dirigido	Reduce el número de vacas y cuartos expuestos mediante CCS, cultivo e historial de mastitis	Menor presión selectiva esperada si la selección es adecuada
Sellador interno de pezón	Preventivo no antimicrobiano	Puede disminuir la necesidad de antibióticos en vacas sin evidencia de infección	No genera presión antimicrobiana directa porque no contiene antibióticos
Prevención mediante manejo	Preventivo no farmacológico	Reduce la necesidad futura de tratamientos mediante higiene, bioseguridad, manejo de camas y mantenimiento del equipo de ordeño	Disminuye indirectamente la presión de selección al reducir la incidencia de enfermedad

Nota: RAM/AMR: resistencia antimicrobiana; CCS: conteo de células somáticas; DDDvet: dosis diaria definida veterinaria; DCDvet: dosis de curso definida veterinaria. Los efectos sobre la resistencia representan tendencias esperadas y pueden variar según el medicamento, patógeno, hato y sistema de manejo. ***Fuente:*** Elaboración propia a partir de la evidencia analizada.

7.6. Residuos de antimicrobianos en leche e inocuidad alimentaria

Al principio activo los residuos de antimicrobianos son pequeñas cantidades, al administrar un medicamento veterinario los productos degradación que pueden permanecer en la leche. Al incumplir el tiempo de retiro se relaciona principalmente con errores en la identificación de animales tratados, el uso de dosis diferentes a las autorizadas, administración por vías no indicadas y deficiencias en los registros sanitarios. La separación de su leche, la vigilancia en el tanque y la verificación analítica antes de la comercialización este control debe abarcar el tratamiento de la vaca, (Costa et al., 2024).

7.6.1. Residuos antimicrobianos en leche cruda

Al incorporar la leche al tanque de producción puede contener residuos debido a que las vacas se encuentran bajo el tratamiento antimicrobiano o que no han completado el periodo de retiro. Durante el tratamiento de la mastitis existe un riesgo relevante esto es debido a que los medicamentos administrados en la glándula mamaria o por vía sistémica. Los betalactámicos, tetraciclinas, sulfonamidas, macrólidos, aminoglucósidos y fluoroquinolonas son los grupos a analizados con más frecuencia. Según los medicamentos utilizados, los sistemas de control y el método analítico aplicado varia la frecuencia de detección entre países (Zulu et al., 2025).

La concentración si es superior al límite permitido no implica la presencia de residuos. Por esta razón, los análisis de muestras detectables y muestras no conformes se deben diferenciar. Una muestra detectable contiene una sustancia identificada por el método analítico, mientras que una muestra no conforme presenta una concentración superior al LMR (límite máximo de residuos) establecido o contiene una sustancia cuyo uso no está autorizado. (Comision Europea, 2025a)

7.6.2. Límites máximos de residuos

El MRL corresponde a la concentración máxima de un residuo al implementar el medicamento veterinario que puede estar presente en alimentación de origen animal, cuando el producto fue utilizado de acuerdo con las buenas prácticas veterinarias. Generalmente se expresa en µg/kg (microgramos por kilogramo) o µg/L (microgramos por litro). El LMR no representa una concentración terapéutica, representa el valor para regular la exposición alimentaria habitual al consumidor (Comision Europea, 2025b).

La LMR apoya en la evaluación toxicológica del medicamento y en la IDA (ingesta diaria admisible), ya que se encuentra definida como la cantidad de una sustancia que una persona puede ingerir diariamente sin presentar riesgos para la salud. Además, una misma molécula puede presentar distintos LMR según sea evaluado mediante la leche, músculo, hígado, riñón u otro alimento (FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024).

Los valores no son necesariamente iguales. El Codex Alimentarius proporciona referencias internacionales, mientras que cada país o bloque regional puede adoptar límites propios. Una concentración inferior al LMR se considera conforme, mientras que una concentración superior requiere investigación, retiro del producto y acciones correctivas en la finca (FAO, 2024).

7.6.3. Tiempos de retiro en vacas tratadas

El TR (tiempo de retiro), o periodo de supresión, es el rango mínimo que debe pasar después de la última administración del medicamento y el momento en que la leche puede destinarse nuevamente al consumo humano. Por ende, en este periodo la leche debe separarse y eliminarse debido a que contiene la concentración del principio activo o de su residuo marcador todavía podría superar el LMR. El tiempo de retiro se debe tener en cuenta desde la última dosis, aunque la vaca presente mejoría clínica (National Dairy FARM Program, 2024)

El tiempo de retiro universal no es igual para todos los antimicrobianos. La duración depende desde el inicio, la formulación, la dosis, la vía de administración, la frecuencia del tratamiento y la capacidad de eliminación del animal. El las horas de ordeño se puede retirar los productos intramamarios, mientras que los que están destinados al secado suelen fijar condiciones relacionadas con el número de días anteriores al parto. Cuando el medicamento es utilizado fuera de las indicaciones, el veterinario debe establecer un periodo de retiro apropiado con base en evidencia farmacológica y normativa (Ruma, 2022).

Es recomendado identificar visiblemente a las vacas tratadas, registrar el medicamento, la dosis, la vía, las fechas de inicio y finalización y el primer ordeño autorizado para el tanque de esta manera se puede evitar errores. También debe verificarse el tratamiento de todos los cuartos mamarios, porque la leche de la vaca se mezcla durante el ordeño. Es importante tener en cuenta estas medidas cuando se dependa de distintos trabajadores en turno en la finca (Ruma, 2022).

7.6.4. Riesgos para salud pública y procesamiento lácteo

Cuando el consumidor ingiere concentraciones que superan el límite máximo de residuos (LMR), pueden presentarse reacciones de hipersensibilidad, modificaciones en la flora intestinal y efectos tóxicos que varían según la sustancia y la cantidad consumida. Los betalactámicos —entre ellos las penicilinas y las cefalosporinas— revisten especial preocupación por su capacidad de provocar cuadros alérgicos en personas ya sensibilizadas. Asimismo, el contacto continuo con niveles por debajo del umbral de inhibición estimula la aparición de cepas resistentes y favorece la permanencia de los genes asociados a esta característica dentro de las poblaciones bacterianas (FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024).

La pasteurización no debe utilizarse como mecanismo para eliminar residuos de fármacos, puesto que varios compuestos antimicrobianos conservan una parte de su actividad biológica tras ser sometidos al proceso térmico habitual. Por ello, la medida de control más eficaz consiste en impedir que la leche proveniente de animales en tratamiento llegue a la cadena de suministro alimentario. El monitoreo debe iniciarse en la propia explotación y complementarse con análisis en los centros de recepción y en las plantas de procesamiento lácteo (Ruma, 2022).

Asimismo, estos restos pueden alterar el funcionamiento de los microorganismos que se emplean en la elaboración de productos fermentados. Las bacterias responsables de transformar la lactosa en ácido láctico pueden verse inhibidas incluso ante concentraciones bajas de sustancias antimicrobianas. Esto provoca una acidificación lenta, fallas en la formación del coágulo, modificaciones en la textura y el sabor, así como una reducción en el volumen final obtenido en la fabricación de quesos y yogures. En consecuencia, niveles que no generen síntomas inmediatos en las personas pueden afectar gravemente los procesos productivos industriales (Dai et al., 2025).

7.6.5. Rechazo de leche en tanque y pérdidas económicas

Es necesario eliminar toda la leche cuando una muestra en el tanque resulta positiva y no conforme, aunque la contaminación proceda de una sola vaca. Al descartar la leche se pueden presentar algunas perdidas , mediante el análisis, la limpieza de equipos, el transporte y la posible aplicación de sanciones. Por lo tanto, si ya se transportó la leche puede verse contaminado la cisterna del camión y aumentar considerablemente el volumen afectado (College Park, 2025).

En Estados Unidos, durante el año fiscal 2024 se registraron 301 resultados positivos entre 3.668.308 muestras analizadas, lo que equivalentes al 0,008 %. Así sea baja la frecuencia , alrededor de 9,97 millones de litros de leche se descartaron. La mayoría de los resultados positivos correspondió a betalactámicos, lo que demuestra que una proporción pequeña de irregularidades puede representar pérdidas económicas importantes en cadenas de gran volumen (College Park, 2025)

Además, se puede ver afectada la relación comercial entre el productor, el centro de acopio y la industria. Por esta razón, se debe incluir protocolos escritos, almacenamiento separado de medicamentos para vacas lactantes y secas, capacitar al personal y pruebas de la leche antes de incorporar al tanque (College Park, 2025)

7.6.6. Métodos de detección de residuos antimicrobianos

Estos métodos se dividen en pruebas de tamizaje y métodos confirmatorios. Las pruebas de tamizaje analizan el número, mientras que el método confirmatorio identifica y cuantifican la sustancia con mayor especificidad. Mediante el programa de vigilancia se puede definir el tipo de muestra, el medicamento investigado, el LOD (limit of detection; límite de detección), el LOQ (limit of quantification; límite de cuantificación) y el LMR que se utilizado para interpretar el resultado (Comision Europea, 2025b).

El LOD se la puede detectar de forma confiable, aunque no necesariamente pueda cuantificarse con precisión. Es la concentración que el método puede medir con exactitud y precisión aceptables (Comision Europea, 2025b).

7.6.6.1.Pruebas rápidas de tamizaje

Mediante las pruebas del tamizaje se logran identificar las muestras sospechosas de una finca, del centro de acopio o de la planta procesadora. Donde se incluyen inmunoensayos, tiras de flujo lateral y biosensores. Las pruebas microbianas detectan la inhibición del crecimiento de un patógena sensible, los inmunoensayos utilizan anticuerpos capaces de reconocer determinados grupos de antimicrobianos. Teniendo como ventajas la rapidez, el costo y la posibilidad de procesar numerosas muestras (Fatima et al., 2026).

Estas pruebas pueden producir resultados positivos o negativos por las interferencias de la matriz, los límites de detección inadecuados, las sustancias inhibidoras naturales o medicamentos que no se encuentran dentro del espectro del kit. Fatima et al. (2026) evaluaron una prueba rápida con una sensibilidad del 98,2 % y una especificidad del 99,2 %, mediante indicadores que representan, la capacidad para reconocer muestras positivas y negativas (Fatima et al., 2026).

7.6.6.2.Métodos confirmatorios

Estos métodos determinan la sustancia y la porción de la concentración que se encuentra presente. Por ende, se encuentran la HPLC, la UPLC y las técnicas cromatográficas que se acoplan a espectrometría de masas. Mediante estos procedimientos se ofrece mayor especificidad que el tamizaje, para ello requieren del equipamiento especializado, los patrones analíticos, el personal capacitado y los procedimientos para preparar las muestras (Q. Zhang et al., 2023a).

Es necesario confirmar el resultado cuando origine sanciones, rechazo del producto o investigación del uso de medicamentos en la finca. Además, ayuda a diferenciar las moléculas de la misma familia, cuantificar concentraciones al LMR y detectar simultáneamente varios grupos farmacológicos. El resultado dependerá de la calibración, la recuperación del analito, el control de calidad y la correcta conservación de la muestra (Q. Zhang et al., 2023a).

7.6.6.3.Cromatografía liquida acoplada a espectrometría de masa en tándem

LC-MS/MS: liquid chromatography-tandem mass spectrometry; cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem. Donde combina dos procesos analíticos, en primer lugar, la LC (liquid chromatography; cromatografía líquida) ayuda a separar los diferentes compuestos encontrados en las muestras. Y segundo, la MS/MS (tandem mass spectrometry; espectrometría de masas en tándem) que nos ayuda a identificar y cuantificar las moléculas de relación masa/carga y a analizar los fragmentos. Al combinar se proporciona la sensibilidad y especificidad, por ende, se utiliza el método confirmatorio para detectar residuos de antimicrobianos en leche y alimentos de origen animal (Q. Zhang et al., 2023b).

Para poder analizar la muestra mediante los procedimientos de extracción y eliminación de proteínas, grasas y otras sustancias se la debe preparar así no interferira en la identificación de los residuos. Entre los procedimientos empleados se encuentra QuEChERS (Quick, Easy, Cheap,

Effective, Rugged and Safe; rápido, fácil, económico, eficaz, robusto y seguro), lo que permite extraer simultáneamente diferentes medicamentos veterinarios. Su combinación con LC-MS/MS ayudará al desarrollo de estos métodos multirresiduo y de la misma manera disminuirá el consumo de solventes y el tiempo de preparación (Dai et al., 2025).

Según Guo et al. (2022), identificaron y cuantificaron 103 residuos de medicamentos veterinarios en leche y productos lácteos desarrollando el método que está basado en UPLC-MS/MS. Mediante este método se cuantifico 0,1 a 5 µg/kg en leche, ayudando a recuperaciones superiores al 60 % para compuestos y desviaciones estándar relativas inferiores al 20 %. Por ende, se muestran que las técnicas multirresiduo ayudan a observar las diferentes farmacológicas dentro del mismo análisis, aunque su costo limita la aplicación rutinaria en algunas regiones (Guo et al., 2022).

Tabla 6.

Puntos críticos para el control de residuos antimicrobianos en la cadena láctea

Punto crítico	Riesgo principal	Indicador o método de vigilancia	Medida de control
Tratamiento de mastitis clínica	Presencia de residuos en la leche por administración intramamaria o sistémica	Registro del medicamento, dosis, vía, fecha de aplicación y vaca tratada	Identificar al animal, separar su leche y cumplir el tiempo de retiro
Tratamiento de mastitis subclínica	Uso innecesario de antimicrobianos y presencia de residuos	CCS, cultivo bacteriológico, antibiograma e historial del cuarto mamario	Confirmar la necesidad del tratamiento y separar la leche durante el tiempo de retiro
Terapia de secado en manto	Exposición generalizada a antimicrobianos y residuos al inicio de la siguiente lactancia	Fecha de aplicación, producto utilizado, fecha esperada de parto y duración del periodo seco	Registrar el tratamiento y verificar que se cumpla el intervalo mínimo entre el secado y el parto

Terapia de secado selectiva	Tratamiento incorrecto de vacas no infectadas o exclusión de animales que requieren antimicrobianos	CCS, cultivo, antecedentes de mastitis y registros productivos	Seleccionar las vacas mediante criterios definidos y mantener registros individuales
Ordeño de vacas tratadas	Incorporación accidental de leche no apta al sistema de ordeño	Identificación visual del animal y registro del último tratamiento	Ordeñar por separado o al final, utilizar equipos identificados y descartar la leche
Tanque de leche de la finca	Mezcla de leche apta con leche que contiene residuos	Prueba rápida de tamizaje o de inhibidores antes del envío	No incorporar leche de vacas tratadas y aislar el tanque ante un resultado sospechoso
Transporte en camión cisterna	Contaminación de la leche procedente de varios productores	Muestra individual del proveedor y registro de la ruta de recolección	Mantener muestras de respaldo y garantizar la trazabilidad por finca
Centro de acopio	Rechazo de todo el lote por presencia de residuos	Prueba rápida de residuos y verificación del LMR	Separar el lote sospechoso, identificar al proveedor y realizar una prueba confirmatoria
Planta procesadora	Incumplimiento normativo e inhibición de cultivos iniciadores empleados en queso o yogur	Tamizaje y confirmación mediante LC-MS/MS	Aplicar el programa de control de calidad, rechazar lotes no conformes e investigar su origen
Comercialización y consumo	Exposición del consumidor a concentraciones superiores al LMR	Resultados del programa oficial de vigilancia	Retirar el producto no conforme, notificar a la autoridad y aplicar medidas correctivas

Nota. CCS: conteo de células somáticas; LMR: límite máximo de residuos; LC-MS/MS: *liquid chromatography-tandem mass spectrometry* (cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem). La tabla presenta los principales puntos críticos, indicadores y medidas de control para prevenir el ingreso de leche con residuos antimicrobianos a la cadena alimentaria. ***Fuente.*** Elaboración propia con base en Costa et al. (2024), Codex Alimentarius (2024), National Dairy FARM Program (2024) y Comisión Europea (2025).

7.7. Ambiente, estiércol y resistoma en sistemas lecheros

Mediante la explotación lechera participa la conservación y circulación de la resistencia antimicrobiana. Estos fármacos colocados en los animales se expulsan mediante las heces y la orina, las bacterias resistentes que se encuentran dentro del tracto digestivo llegan al estiércol, los purines, el suelo y el agua. De esta manera, el ambiente funciona como un componente activo en la conexión entre la salud animal y humana dentro del enfoque One Health (Veloo et al., 2025).

7.7.1. Eliminación de antimicrobianos, bacterias resistentes y ARGs

Después de administrar un antimicrobiano, un porcentaje se metaboliza dentro del organismo y lo restante se expulsará sin modificaciones o como metabolitos activos mediante la orina y las heces. La porción expulsada depende del principio activo, la dosis, la vía de administración, la formulación y la capacidad metabólica del animal. Por ende, los residuos pueden mantener la actividad biológica en el estiércol y ejercer presión de selección sobre las comunidades bacterianas ambientales, incluso cuando se encuentran en concentraciones inferiores a las utilizadas durante el tratamiento (Di Martino, 2022)

Los animales también expulsan ARB (antibiotic-resistant bacteria; bacterias resistentes a los antibióticos) y ARGs (antimicrobial resistance genes; genes de resistencia antimicrobiana). En los ambientes ganaderos se encuentran *tetM* y *tetW*, que están relacionados con resistencia a tetraciclinas; *sul1* y *sul2*, asociados con sulfonamidas; *ermB*, relacionado con macrólidos y lincosamidas; y genes *bla*, vinculados con resistencia a betalactámicos. Su detección no demuestra por sí sola que exista transmisión hacia una bacteria patógena, pero permite identificar reservorios y posibles rutas de diseminación (Zhao et al., 2025).

7.7.2. Estiércol y purines como reservorio de resistencia antimicrobiana

Las heces, orina y materiales utilizados en las camas forman el estiércol, mientras el purín es una mezcla líquida o semilíquida de excretas, agua de lavado y restos orgánicos. Por ende, se utilizan como reservorios ya que los residuos de antimicrobianos se reúnen, bacterias resistentes, ARGs y nutrientes que favorecen la actividad microbiana. Para obtener el fertilizante se necesita estos componentes como los estercoleros, lagunas y fosas de almacenamiento (Liu et al., 2025)

El tratamiento del estiércol puede disminuir, pero no necesariamente eliminar, la resistencia. Según Zalewska et al. (2024), afirmaron que el almacenamiento y el compostaje modifican el microbiota y el resistoma del estiércol bovino; sin embargo, algunos ARGs se encontraran aun después del tratamiento. Esto dependerá de la temperatura , humedad, aireación, homogeneidad y tiempo de duración para el proceso, por ende, si el compostaje no se encuentra completo no se eliminará las bacterias resistentes de los genes (Zalewska et al., 2024)

Menciona, Wang et al. (2024) que en una explotación lechera encontraron que el tratamiento aplicado a los residuos redujo la abundancia relativa de ARGs en un 68,5 % en las aguas residuales y un 62,1 % en el estiércol. La fermentación anaerobia bajo un 29,3 % de los ARGs presentes en aguas tratadas, también, la fermentación a temperaturas altas disminuirá un 33,6 % de los genes identificados en el estiércol. Por ello, al reducirse, al momento de usar las aguas tratadas para los riegos ayudara a la abundancia de la biodiversidad de ARGs y ARB en el suelo agrícola (Zalewska et al., 2024).

7.7.3. Suelo agrícola y transferencia de genes de resistencia

El estiércol aporta materia orgánica al suelo, además puede introducir bacterias resistentes y ARGs procedentes del intestino de los animales. Por lo tanto, al colocar la fertilización un porcentaje del microrganismo sobreviven por cierto tiempo, por ende, los genes pueden sobresalir en bacterias del ambiente o material genético extracelular. Mediante análisis de campose obtuvo que al aplicar el estiércol se incrementa entre m0,5 y 3,7 veces la abundancia de ARGs y entre 2,7 y 3,7 veces el número de subtipos detectados en el suelo (J. Kang et al., 2022).

Mediante HGT (horizontal gene transfer; transferencia horizontal de genes), se puede producir la transmisión, procesos por lo que una materia obtiene material genético de otra sin ser descendientes. En esta participan plásmidos, transposones e integrones, agrupados como MGE (mobile genetic elements; elementos genéticos móviles). Mediante los elementos se pueden transportar uno o varios ARGs y ayudar la circulación en las bacterias ambientales, comensales y potencialmente patógenas. La detección conjunta de ARGs y MGE corresponde un riesgo mayor que la presencia aislada de un gen, debido a que hay mayor posibilidad de movilización (Berglund et al., 2023).

La cantidad de estiércol aplicada depende la intensidad, el tratamiento previo, la frecuencia de fertilización, el tipo de suelo, la humedad, el pH y la comunidad bacteriana residente. Hace 12 años se experimentó que la incorporación de estiércol incrementó entre 14,1 % y 20 % la riqueza de ARGs en la capa superficial, manteniendo un efecto en el subsuelo. Indicando como resultado la acumulación para concentrarse en la capa superior, y de esta manera evitar que la migración vertical no ocurre con la misma intensidad en todos los terrenos (Y. Zhang et al., 2025).

7.7.4. Agua superficial y subterránea como vías de diseminación

Las lluvias o riegos pueden transportar residuos de antimicrobianos mediante la escorrentía, ARB y ARGs desde corrales, estercoleros y terrenos fertilizados hacia canales, quebradas, ríos y reservorios. Al infiltrarse se conducen los contaminantes a las aguas subterráneas, a los suelos permeables, zonas con nivel freático superficial o instalaciones con sistemas deficientes de almacenamiento de purines. Los sedimentos acuáticos pueden retener bacterias y genes, funcionando como reservorios (Wiesner-Friedman et al., 2023).

Una revisión sobre sistemas ganaderos registró que dos de los tres trabajos dedicados al ganado bovino hallaron indicios de bacterias resistentes a antibióticos (ARB) o de genes asociados a esta característica (ARGs) en aguas subterráneas de las zonas analizadas. En uno de esos estudios, el 25 % de los aislamientos de *Escherichia coli* obtenidos de dos pozos de control mostró resistencia a ceftriaxona y tetraciclina, además de sensibilidad intermedia frente al cloranfenicol. No obstante, la falta de puntos de referencia en algunas investigaciones impidió atribuir esa resistencia únicamente a las actividades de las explotaciones, lo que representa una limitación metodológica relevante (Meyer et al., 2024).

Por ello, la vigilancia de los recursos hídricos debe incluir puntos de muestreo tanto aguas arriba como aguas abajo de la explotación, además de pozos aledaños, cauces de drenaje, el agua que consumen los animales y las fuentes destinadas al riego. Junto a la identificación de bacterias resistentes, se pueden aplicar herramientas moleculares como la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa (qPCR) para cuantificar genes concretos, así como la secuenciación metagenómica para describir el conjunto completo de genes de resistencia presente en el entorno (EPA, 2024)

7.7.5. Persistencia ambiental del resistoma

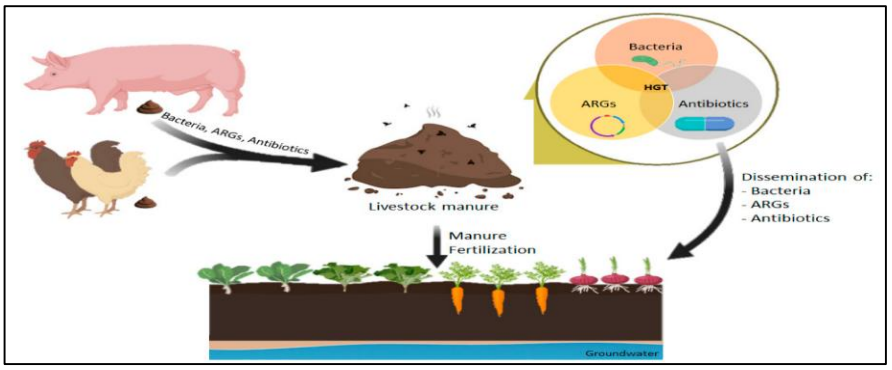
Comprende todos los genes de resistencia que se encuentran presentes en comunidades microbianas del estiércol, suelo, agua y sedimentos, que se localizan en bacterias patógenas, comensales o ambientales. Su permanencia en el entorno está determinada por la estabilidad del material genético, la capacidad de adaptación de las bacterias que los albergan y las condiciones propias del medio. Incluso cuando los restos del antimicrobiano ya no están presentes, ciertos genes de resistencia pueden seguir circulando, ya que también otorgan ventajas frente a metales pesados, productos desinfectantes u otras fuentes de estrés ambiental. (Itzhari & Ronen, 2023).

Al detectar un ARG no significa que se encuentre riesgo para la salud de las personas. El riesgo crece al encontrar en un patógeno viable aumenta, está asociado con un MGE, por ende, se trasfiere y confiere mediante la resistencia a antimicrobianos debido a que son necesarios para la medicina humana. Por ejemplo, en 2 fincas lecheras, las muestras contienen la mayor diversidad de ARGs, incluidos para la salud pública, el suelo demuestra mayor abundancia de genes, pero sin el mismo nivel de riesgo. De esta manera se evaluará la cantidad, pero también los microorganismos que son portadores genéticos (Collis et al., 2024b)

Se debe integrar el uso prudente de antimicrobianos, la separación y el tratamiento de residuos, el compostaje en condiciones baja, proteger las fuentes de agua además aplicar el estiércol al cultivo en dosis. Sin embargo, no se debe aplicar ante las lluvias intensas, también mantener la distancia para proteger los pozos y vertientes de agua. De esta manera se reduce la movilización de residuos, bacterias resistentes y genes desde la finca hacia otros componentes de la cadena ambiental (European Commission, 2023)

Figura 2.

Vías ambientales de diseminación de la resistencia antimicrobiana asociada con la aplicación de estiércol en suelos agrícolas.



Fuente: ARB: *antibiotic-resistant bacteria* (bacterias resistentes a los antibióticos); ARGs: *antibiotic resistance genes* (genes de resistencia a los antibióticos); HGT: *horizontal gene transfer* (transferencia horizontal de genes). Adaptado de Lima et al. (2020), bajo licencia CC BY 4.0.

Tabla 7.

Vías ambientales de diseminación de la resistencia antimicrobiana en sistemas lecheros

Vía ambiental o de exposición	Fuente principal	Elemento diseminado	Mecanismo de diseminación
Heces y orina	Bovinos tratados y microbiota intestinal	Residuos de antimicrobianos, ARB y ARGs	Eliminación de medicamentos, metabolitos y bacterias resistentes
Estiércol	Acumulación de excretas y materiales de cama	Antimicrobianos, ARB, ARGs y MGE	Almacenamiento, manipulación y aplicación como abono
Purines y aguas de lavado	Mezcla líquida de excretas y agua procedente de la limpieza	Residuos antimicrobianos, ARB y ARGs	Derrames, infiltración, riego y descarga de efluentes
Suelo agrícola	Aplicación de estiércol, compost o purines	ARGs, ARB y residuos antimicrobianos	Incorporación al suelo y transferencia horizontal de genes

Agua superficial	Escorrentía de corrales y terrenos fertilizados	ARB, ARGs y residuos antimicrobianos	Transporte por lluvias, canales y drenajes
Agua subterránea	Lixiviación desde estercoleros, lagunas y suelos abonados	ARGs, ARB y residuos solubles	Infiltración a través del perfil del suelo
Cultivos agrícolas	Suelos fertilizados o regados con efluentes pecuarios	ARB y ARGs	Contacto de raíces y partes comestibles con suelo o agua contaminados
Fauna silvestre	Contacto con estiércol, residuos, cultivos o agua contaminada	Bacterias resistentes y ARGs	Ingestión, contacto y desplazamiento entre ecosistemas
Trabajadores	Contacto directo con animales tratados, excretas y equipos	ARB y ARGs presentes en microorganismos portadores	Contacto cutáneo, inhalación de polvo y contaminación de manos o ropa
Comunidad cercana	Uso de agua, contacto ambiental o consumo de productos contaminados	ARB, ARGs y residuos antimicrobianos	Exposición directa o indirecta a fuentes contaminadas

Nota. ARB: *antibiotic-resistant bacteria* (bacterias resistentes a los antibióticos); ARGs: *antimicrobial resistance genes* (genes de resistencia antimicrobiana); MGE: *mobile genetic elements* (elementos genéticos móviles); One Health: Una sola salud. ***Fuente.*** Elaboración propia con base en alos estudios analizados en el apartado anterior.

7.8. Intervenciones de stewardship antimicrobiano en mastitis y terapia de secado

Las estrategias orientadas a optimizar el empleo de antimicrobianos en explotaciones lecheras deben integrar acciones de prevención, diagnóstico oportuno, selección de animales y el seguimiento de los resultados obtenidos. El propósito no es prescindir de los tratamientos que resultan necesarios, sino evitar la administración de fármacos cuando no hay infecciones bacterianas , en caso de existir se debe elegir el compuesto adecuado y limitar la duración o el alcance. Tanto la mastitis clínica como la terapia del secado constituyen ejes prioritarios, ya que

suponen una parte considerable del consumo de estos medicamentos en unidades productivas lácteas (Dairy Farmers of Canada, 2024b).

7.8.1. Stewardship antimicrobiano en la práctica agropecuaria

AMS: antimicrobial stewardship; gestión responsable del uso de antimicrobianos.

La AMS (antimicrobial stewardship; gestión responsable del uso de antimicrobianos) las acciones destinadas a mejorar la selección, dosis, vía, duración y evaluación de los tratamientos se comprende preservando el bienestar animal. En las explotaciones lecheras se debe prevenir enfermedades protocolos escritos, participación veterinaria, diagnóstico, registros de tratamientos, cumplimiento del tiempo de retiro y revisión periódica del consumo de medicamentos. Estas acciones ayudan a diferenciar entre una reducción indiscriminada y una verdadera optimización del uso (NMPF, 2024)

La aplicación de AMS ayuda a establecer protocolos específicos para mastitis clínica, subclínica y terapia de secado. En los registros se debe identificar el animal, cuarto mamario afectado, diagnóstico, medicamento, dosis, vía, frecuencia, duración, persona responsable y fecha de reincorporación de la leche al tanque. Mediante estos datos se calculará los indicadores como la DDDvet (defined daily dose for animals; dosis diaria definida veterinaria) y la DCDvet (defined course dose for animals; dosis de curso definida veterinaria), además se identificará el tratamiento repetido o fallas terapéuticas (NMPF, 2024).

7.8.2. Diagnostico microbiológico de mastitis

El diagnóstico microbiológico se realiza mediante el cultivo de una muestra de leche obtenida asépticamente del cuarto afectado. Este procedimiento permite clasificar el resultado como crecimiento de bacterias grampositivas, gramnegativas, infección mixta, muestra contaminada o ausencia de crecimiento. Hasta el 40 % de las muestras de mastitis puede no presentar crecimiento bacteriano, debido a eliminación espontánea, baja concentración del microorganismo, tratamiento previo o condiciones inadecuadas de muestreo y transporte. Administrar antimicrobianos sin conocer esta información puede ocasionar tratamientos innecesarios (International Dairy Federation, 2024)

El cultivo en finca o OFC (on-farm culture; cultivo realizado en la propia finca) puede proporcionar una clasificación inicial en aproximadamente 18 a 24 horas. En casos no graves, este periodo permite esperar el resultado antes de seleccionar el tratamiento. Los sistemas de cultivo no sustituyen completamente al laboratorio porque su capacidad para identificar especies y determinar sensibilidad es limitada, pero ayudan a distinguir los casos que probablemente se beneficiarían de antimicrobianos de aquellos con resultado negativo o determinados microorganismos gramnegativos (Penn State Extension, 2025)

Para obtener resultados confiables, la muestra debe tomarse antes de administrar el medicamento, después de limpiar el pezón y desinfectar su extremo. El recipiente debe identificarse con la vaca, cuarto mamario y fecha de recolección. Cuando se requiere seleccionar una molécula específica, el aislamiento puede complementarse con un AST (antimicrobial susceptibility testing; prueba de sensibilidad a los antimicrobianos), también denominado antibiograma. Sin embargo, el resultado debe interpretarse junto con la especie bacteriana, la farmacocinética del producto y la posibilidad de curación espontánea (Penn State Extension, 2025)

7.8.3. Uso prudente de antimicrobianos intramamarios

Esto implica tratar únicamente las infecciones que respondan al medicamento con una buena probabilidad. Los casos leves o moderados suelen tener mayor probabilidad para beneficiarse del tratamiento a diferencia de aquellos sin crecimiento bacteriano. En cambio, las mastitis graves requieren atención inmediata sin esperar exclusivamente el resultado del cultivo (de Souza et al., 2024).

Se debe respetar la dosis, frecuencia y duración autorizadas. Al prolongar los tratamientos sin criterios clínicos o microbiológicos aumenta el consumo total, la cantidad de leche descartada y la presión selectiva. Además, no se debe cambiar de principio activo únicamente porque la leche continúa visualmente alterada. La evaluación debe considerar curación clínica, curación bacteriológica, recurrencia y CCS (conteo de células somáticas) posterior al tratamiento (de Souza et al., 2024).

7.8.4. Terapia de secado selectiva

La SDCT (selective dry cow therapy; terapia de secado selectiva) corresponde en administrar antimicrobianos intramamarios solamente en vacas o cuartos que presenten infecciones. Donde se diferencia de la BDCT (blanket dry cow therapy; terapia de secado en manto), mediante la cual las vacas deben recibir antimicrobianos al finalizar la lactancia. La selección puede basarse en CCS individual, cultivo bacteriológico, antecedentes de mastitis clínica y registros de producción (Paiva et al., 2024b).

La SDCT debe implementarse en rebaños con registros confiables, de baja prevalencia de patógenos contagiosos y en adecuados procedimientos de ordeño y secado. Las vacas que están sanas pueden recibir solamente un sellador interno de pezón. (Paiva et al., 2024b).

La adopción de SDCT suele reducir entre 40 % y 50 % el uso de antimicrobianos durante el secado, y no se perjudicará la salud mamaria cuando las vacas son seleccionadas adecuadamente. (Paiva et al., 2024b).

7.8.5. Selladores internos de pezón como estrategia no antimicrobiana

Los ITS (internal teat sealants; selladores internos de pezón) son formulaciones no antimicrobianas que se colocan en la cisterna del pezón al momento del secado. Su función es no permitir la entrada de microorganismos durante el periodo seco para que el canal del pezon no tarde en cerrar. (Ut et al., 2025b).

Si las vacas no tienen infecciones , los selladores se utilizarán sin antimicrobianos dentro de un programa de SDCT. Si las vacas se detectan infectadas, pueden aplicarse después del antimicrobiano de esta manera se reducirá el riesgo de nuevas infecciones. Su eficacia depende de una técnica completamente aséptica, para evitar la mastitis se debe evitar las bacterias dentro del pezón, desinfectándolo y evitando que la cánula toque superficies contaminadas (Ut et al., 2025b).

7.8.6. Vacunación, bioseguridad y control de mastitis

La vacunación no reemplazara las mediada de higiene y manejo para disminuir la incidencia, gravedad o duración de determinadas mastitis. Las vacunas combaten contra coliformes, Staphylococcus aureus u otros patógenos específicos, y sus resultados varían según la

formulación y las condiciones del rebaño. En la Universidad de Georgia registró una reducción del 42 % en los casos clínicos de mastitis por coliformes, del 67 % en episodios repetidos y del 61 % en la mortalidad de las vacas vacunadas (Valery Ryman, 2022)

No obstante, un estudio encontró heterogeneidad entre los estudios de vacunación contra mastitis, a diferencia en los patógenos, esquemas de aplicación, definición de los casos y condiciones de las fincas. En consecuencia, la vacuna debe considerarse una intervención complementaria y su efectividad mediante la incidencia de mastitis, gravedad, recurrencia, CCS y uso de antimicrobianos (Mata et al., 2023a)

El control debe apoyarse en vigilancia continua mediante CCS individual y del tanque, registros de mastitis clínica, cultivos periódicos y evaluación de la rutina de ordeño. Una estrategia oficial de control considera que un CCS individual igual o mayor a 200.000 células/mL que constituye un indicador de probable infección intramamaria. (Krishi Bhawan, 2025)

Tabla 8.

Intervenciones de gestión responsable de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado

Intervención	Aplicación	Criterio o indicador de decisión	Efecto esperado
Cultivo bacteriológico	Mastitis clínica y subclínica	Identificación del microorganismo o ausencia de crecimiento bacteriano	Tratamiento dirigido y reducción de tratamientos innecesarios
Cultivo en finca	Mastitis clínica no grave	Clasificación inicial en bacterias grampositivas, gramnegativas o ausencia de crecimiento	Decisión terapéutica en aproximadamente 18–24 horas
Prueba de sensibilidad antimicrobiana	Casos recurrentes, persistentes o con fallas terapéuticas	Perfil de sensibilidad y resistencia del aislamiento	Selección del antimicrobiano con mayor probabilidad de eficacia
Tratamiento selectivo de mastitis clínica	Casos leves o moderados	Cultivo, gravedad, antecedentes y características de la vaca	Menor número de dosis y reducción de leche descartada

Protocolos terapéuticos escritos	Mastitis clínica y subclínica	Patógeno, gravedad, dosis, vía, duración y tiempo de retiro	Uso racional y uniforme de los antimicrobianos
Terapia de secado selectiva	Finalización de la lactancia	CCS, cultivo, historial de mastitis y registros productivos	Reducción aproximada del 40–50 % del uso antimicrobiano durante el secado
Sellador interno de pezón	Periodo seco	Riesgo de nuevas infecciones intramamarias	Prevención no antimicrobiana mediante una barrera física
Vacunación contra mastitis	Prevención de patógenos específicos	Riesgo del hato, patógenos predominantes y antecedentes epidemiológicos	Menor incidencia, gravedad o recurrencia de determinados casos
Bioseguridad	Ingreso y manejo de animales	Estado sanitario, antecedentes y resultados microbiológicos	Menor introducción y circulación de patógenos contagiosos
Ordeño higiénico	Prevención de mastitis contagiosa y ambiental	Condición de pezones, limpieza, CCS y mastitis clínica	Menor incidencia de nuevas infecciones y menor necesidad de tratamientos

Nota. AMS: *antimicrobial stewardship* (gestión responsable del uso de antimicrobianos); CCS: conteo de células somáticas; DDDvet: *defined daily dose for animals* (dosis diaria definida veterinaria); DCDvet: *defined course dose for animals* (dosis de curso definida veterinaria). La tabla resume las principales intervenciones destinadas a prevenir la mastitis, orientar los tratamientos y reducir el uso innecesario de antimicrobianos. ***Fuente.*** Elaboración propia con base en a los estudios analizados en el apartado anterior.

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS

8.1. Preguntas científicas (una por cada objetivo específico)

P1: Los patrones de uso de antimicrobianos reportados en la literatura científica evidencian un predominio del uso preventivo (terapia de secado generalizada, no selectiva) sobre el uso terapéutico dirigido en el manejo de mastitis en bovinos lecheros.

P2: El uso preventivo de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado está asociado con patrones de resistencia antimicrobiana más elevados que el uso terapéutico dirigido, según la evidencia científica sintetizada.

P3: Existen vías identificables de diseminación ambiental del resistoma asociadas a la producción lechera (agua, suelo, residuos pecuarios), frente a las cuales las intervenciones de stewardship antimicrobiano descritas en la literatura constituyen estrategias efectivas de mitigación.

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente estudio corresponde a una revisión bibliográfica estructurada con aproximación sistemática y síntesis narrativa, orientada a analizar la evidencia científica disponible sobre el uso terapéutico y preventivo de antimicrobianos en bovinos lecheros, con énfasis en el manejo de mastitis y terapia de secado, así como sus implicaciones en la resistencia antimicrobiana, los residuos en leche, la salud pública y el ambiente bajo el enfoque One Health. Esta denominación metodológica se sustenta en que la revisión incorpora procedimientos explícitos de búsqueda, selección, depuración, extracción y síntesis de evidencia, aunque no cumple todos los requisitos de una revisión sistemática estricta según guías internacionales.

Se emplea la expresión revisión bibliográfica estructurada con enfoque sistemático, ya que el estudio no reúne todos los requisitos establecidos para una revisión sistemática completa —entre ellos el registro previo de un protocolo o la valoración estandarizada del riesgo de sesgo—, optando por una síntesis final de carácter narrativo e interpretativo. Esta modalidad se eligió porque los trabajos consultados muestran una gran diversidad en cuanto a diseños metodológicos, poblaciones estudiadas, técnicas diagnósticas, indicadores de consumo de antimicrobianos, variables ambientales y resultados reportados; dicha heterogeneidad impide agrupar la información mediante análisis estadísticos como el metaanálisis.

Tabla 9.

Diferenciación metodológica del tipo de revisión empleada

Tipo de revisión	Características principales	Aplicación en este estudio
Revisión narrativa simple	Describe un tema de forma general, sin detallar de manera estricta búsqueda, selección, criterios explícitos o extracción sistematizada.	No corresponde completamente, porque este estudio sí aplicó búsqueda estructurada, criterios de selección y matrices de extracción.
Revisión sistemática estricta	Utiliza protocolo previo, búsqueda exhaustiva, selección reproducible, evaluación formal del riesgo de sesgo y, cuando procede, metaanálisis.	No corresponde totalmente, porque no se realizó registro previo de protocolo, evaluación formal del riesgo de sesgo ni metaanálisis.
Revisión bibliográfica estructurada con aproximación sistemática	Aplica búsqueda organizada, pregunta PECO, criterios explícitos, matrices de extracción y síntesis narrativa.	Es la denominación más adecuada para esta investigación, por su carácter ordenado, transparente y orientado por objetivos.

Fuente. Elaboración propia con base en guías metodológicas para revisiones de evidencia y selección del tipo de revisión**.**

9.1. Tipo de revisión y justificación metodológica

La revisión sistemática es una investigación secundaria que busca analizar una pregunta específica mediante métodos explícitos, reproducibles y previamente definidos para identificar, seleccionar, evaluar críticamente y sintetizar la evidencia disponible. Teniendo como propósito disminuir el sesgo en la búsqueda y selección de estudios, permitiendo obtener conclusiones basadas en la totalidad de la evidencia relevante disponible.

En cambio, una revisión narrativa simple suele presentar una descripción general del tema, sin que se detallen de manera estricta las bases consultadas, las cadenas de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión, o el proceso de selección de documentos. Por esta razón, cuando se utiliza una búsqueda ordenada, no alcanza todos los criterios de una revisión sistemática estricta, resulta

metodológicamente más adecuado denominarla revisión estructurada, revisión con aproximación sistemática o síntesis narrativa estructurada, según su nivel de formalización.

El presente estudio se sitúa en un nivel intermedio, ya que incorpora elementos característicos de las revisiones sistemáticas: la formulación de una pregunta de investigación clara, el uso de la estrategia PECO, la selección de las bases de datos, la elaboración de ecuaciones de búsqueda con operadores booleanos, la definición de criterios de inclusión y exclusión, la revisión secuencial por título, resumen y texto completo, la organización de la información en matrices y la síntesis de los hallazgos en función de los objetivos propuestos. Aun así, no se clasifica como una revisión sistemática estricta, al no haberse llevado a cabo un metaanálisis, ni una valoración estandarizada del riesgo de sesgo por cada trabajo, ni el registro anticipado del protocolo metodológico en una plataforma internacional.

9.2. Diferencia entre estudios primarios y estudios secundarios

Para desarrollar esta revisión, se tomaron en cuenta tanto trabajos primarios como secundarios, siempre que su contenido guardara relación directa con los objetivos planteados. Esta elección se justifica porque la temática abarca aspectos clínicos, epidemiológicos, microbiológicos, ambientales, normativos y de salud pública, lo que requiere consultar un espectro amplio de la evidencia existente.

Los estudios primarios comprenden aquellas investigaciones en las que los autores obtienen y analizan información de forma directa. En esta categoría se incluyen diseños observacionales, transversales, de cohorte, ensayos de campo, trabajos experimentales, análisis microbiológicos, estudios de detección de residuos y experiencias de intervención en hatos lecheros. Se seleccionaron aquellos que reportaron datos sobre consumo de antimicrobianos en mastitis bovina, terapias de secado universales o selectivas, resultados de pruebas de sensibilidad en agentes causantes de mastitis, presencia de residuos en leche, identificación de genes de resistencia en estiércol, suelo o fuentes hídricas, así como estrategias alternativas como diagnóstico en predio, uso de selladores internos o manejo de estiércol mediante compostaje.

Por su parte, los estudios secundarios reúnen documentos que sintetizan información ya publicada con anterioridad. Aquí se contemplan revisiones sistemáticas, trabajos narrativos,

revisiones de alcance, análisis estadísticos conjuntos, lineamientos clínicos, informes técnicos y normativas vigentes. Estos aportes permitieron contextualizar el estado actual del conocimiento, reconocer tendencias recientes, respaldar definiciones conceptuales, contrastar recomendaciones de distintos organismos, integrar la perspectiva de Una Salud y complementar los hallazgos provenientes de las investigaciones originales.

9.3. Delimitación del alcance mediante estrategia PECO

Se oriento la búsqueda y se seleccionó la evidencia mediante la estrategia PECO, empleada en revisiones relacionadas con salud humana, salud animal, epidemiología, ambiente y medicina veterinaria. Esta estrategia permitió organizar la pregunta de investigación en cuatro componentes: población, exposición, comparación y resultado, facilitando la selección de términos de búsqueda y la definición de criterios de inclusión.

9.3.1. Población

La población de interés estuvo constituida por bovinos lecheros, mediante un énfasis en vacas lactantes, periodo seco y animales pertenecientes a sistemas de producción láctea. También se consideró elementos de la cadena láctea cuando aportaban información sobre leche, residuos, ambiente, estiércol, aguas residuales o salud pública.

9.3.2. Exposición

La exposición principal fue el uso terapéutico y preventivo de antimicrobianos en bovinos lecheros. Se priorizo los antimicrobianos utilizados en el manejo de mastitis clínica, subclínica y terapia de secado. También se consideró prácticas relacionadas con tratamientos intramamarios, sistémicos, terapia de secado en manto, de secado selectiva, uso de cefalosporinas, uso de antibióticos betalactámicos, prescripción veterinaria, tratamientos empíricos, protocolos diagnósticos y uso de selladores internos de pezón.

9.3.3. Comparación

La comparación principal fue entre uso terapéutico versus uso preventivo de antimicrobianos. Cuando la evidencia lo permitió, también se compararon terapia de secado selectiva versus de secado en manto, tratamiento basado en diagnóstico versus empírico, uso

intramamario versus sistémico, sistemas con mayor versus menor intensidad de uso antimicrobiano, intervenciones de stewardship versus prácticas convencionales y sistemas con manejo adecuado versus sistemas con deficiencias en bioseguridad o registros.

9.3.4. Resultados

Los resultados de interés fueron patrones de uso antimicrobiano, tipo de indicación terapéutica, metafiláctica o profiláctica, clases antimicrobianas utilizadas, vías de administración, resistencia antimicrobiana en patógenos de mastitis, resistencia antimicrobiana en bacterias indicadoras, presencia de residuos antimicrobianos en leche, cumplimiento de límites máximos de residuos, cumplimiento de tiempos de retiro, diseminación ambiental del resistoma, genes de resistencia antimicrobiana en estiércol, suelo o agua, intervenciones de stewardship antimicrobiano e implicaciones para salud pública y ambiente bajo enfoque One Health.

Tabla 10.

Aplicación de la estrategia PECO en la revisión

Componente	**Definición metodológica**	**Aplicación al estudio**
Población	Grupo, especie o sistema sobre el cual se revisa la evidencia.	Bovinos lecheros, vacas en lactancia, vacas en periodo seco y cadena de producción láctea.
Exposición	Factor, intervención o práctica cuya evidencia se analiza.	Uso terapéutico y preventivo de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado.
Comparación	Grupo o práctica frente a la cual se contrasta la exposición.	Uso terapéutico frente a preventivo; terapia de secado selectiva frente a terapia en manto; diagnóstico frente a uso empírico.
Resultado	Desenlaces o variables que permiten responder la pregunta.	Resistencia antimicrobiana, residuos en leche, diseminación ambiental, salud pública e intervenciones de stewardship.

Fuente. Elaboración propia con base en el esquema PECO y en guías de formulación de preguntas para revisiones de evidencia.

9.4. Pregunta orientadora de la revisión

A partir de la estrategia PECO, la pregunta orientadora fue: ¿qué evidencia científica existe sobre el uso terapéutico y preventivo de antimicrobianos en bovinos lecheros, especialmente en mastitis y terapia de secado? y ¿Qué relación contiene con resistencia antimicrobiana, residuos en leche y diseminación ambiental bajo el enfoque One Health?

Esta pregunta permitió mantener la revisión en tres ejes principales: uso antimicrobiano en mastitis y terapia de secado; resistencia antimicrobiana y residuos en leche; y diseminación ambiental del resistoma e intervenciones de stewardship.

9.5. Fuentes de información y bases de datos consultadas

La búsqueda bibliográfica se realizó entre mayo y julio de 2026. Se consulto en bases de datos científicas, repositorios académicos, revistas especializadas y documentos técnicos de organismos nacionales e internacionales. Las fuentes fueron seleccionadas porque permiten recuperar literatura científica en medicina veterinaria, producción animal, salud pública, microbiología, resistencia antimicrobiana, inocuidad alimentaria y ambiente. El registro operativo de las fuentes consultadas, fechas, cadenas de búsqueda, idioma y número de resultados se organizó en la matriz de búsqueda bibliográfica, incorporada como Anexo 1.

PubMed se utilizó en una base de datos biomédica que recopila literatura relacionada con salud humana, medicina veterinaria, microbiología, epidemiología, enfermedades infecciosas, resistencia antimicrobiana y salud pública. Scopus y Web of Science fueron consideradas por su amplia cobertura multidisciplinaria y su utilidad para identificar artículos indexados, revisiones recientes y estudios de alto impacto. ScienceDirect fue consultada por contener artículos de ciencias veterinarias, producción animal, alimentos, microbiología, salud pública, ambiente y tecnología láctea.

Google Scholar se utilizó como motor de búsqueda académico complementario para ampliar la recuperación de documentos, identificar literatura técnica, tesis, documentos institucionales, revisiones y artículos que pudieran no aparecer inicialmente en bases más especializadas. Debido a que Google Scholar ofrece una cantidad elevada de resultados, se priorizaron artículos científicos, revisiones, documentos técnicos oficiales y publicaciones con texto completo disponible.

SciELO y Redalyc fueron consultadas para recuperar literatura regional en español y portugués, especialmente estudios que se desarrollaron en América Latina sobre bovinos lecheros, salud pública veterinaria, resistencia antimicrobiana, producción animal e inocuidad de alimentos. PubMed Central fue empleado para recuperar artículos de acceso abierto en texto completo.

También se consultaron portales editoriales y repositorios de revistas, como Frontiers, Springer, Nature, MDPI y ASM Journals, principalmente cuando los resultados recuperados contenían evidencia específica sobre mastitis, terapia de secado, resistencia antimicrobiana, residuos o diseminación ambiental.

Se incluyeron documentos técnicos y normativos de la Organización Mundial de la Salud, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la Organización Mundial de Sanidad Animal, Codex Alimentarius, Agencia Europea de Medicamentos, AGROCALIDAD, Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador e Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Mediante estos documentos se empleó para sustentar definiciones, lineamientos de uso prudente, límites máximos de residuos, vigilancia de resistencia antimicrobiana, tiempos de retiro, enfoque One Health y políticas de control.

9.6. Estrategia de búsqueda bibliográfica

Esta estrategia se diseñó mediante la combinación de palabras clave en español e inglés, utilizando operadores booleanos para ampliar, delimitar o precisar los resultados. Los términos fueron agrupados en bloques conceptuales de acuerdo con los componentes PECO.

9.6.1. Bloque de población

dairy cattle; dairy cows; bovine; cattle; bovinos lecheros; vacas lecheras; ganado bovino lechero; dairy farms; dairy production.

9.6.2. Bloque de exposición

antimicrobial use; antibiotic use; antimicrobial therapy; therapeutic use; preventive use; prophylactic use; metaphylactic use; antimicrobial treatment; uso de antimicrobianos; uso de antibióticos; uso terapéutico; uso preventivo; uso profiláctico; uso metafiláctico.

9.6.3. Bloque específico de mastitis y terapia de secado

mastitis; bovine mastitis; clinical mastitis; subclinical mastitis; dry cow therapy; selective dry cow therapy; blanket dry cow therapy; teat sealant; intramammary treatment; mastitis bovina; mastitis clínica; mastitis subclínica; terapia de secado; terapia de secado selectiva; terapia de secado en manto; sellador interno de pezón; tratamiento intramamario.

9.6.4. Bloque de resultados microbiológicos y salud pública

antimicrobial resistance; antibiotic resistance; resistant bacteria; resistance genes; antimicrobial residues; antibiotic residues; milk residues; maximum residue limits; withdrawal time; food safety; public health; resistencia antimicrobiana; bacterias resistentes; genes de resistencia; residuos antimicrobianos; residuos en leche; límites máximos de residuos; tiempos de retiro; inocuidad alimentaria; salud pública.

9.6.5. Bloque ambiental y One Health

One Health; environment; manure; slurry; wastewater; soil; water; resistome; antimicrobial stewardship; biosecurity; enfoque One Health; Una Salud; ambiente; estiércol; purines; aguas residuales; suelo; agua; resistoma; stewardship antimicrobiano; uso prudente; bioseguridad.

9.7. Operadores booleanos utilizados

Para los operadores booleanos permitió unir, ampliar o restringir las búsquedas. El operador AND se utilizó para combinar conceptos diferentes y recuperar documentos que incluyeran simultáneamente los términos seleccionados; por ejemplo, "dairy cattle" AND "antimicrobial resistance". El operador OR se utilizó para incluir sinónimos o términos equivalentes, ampliando la búsqueda; por ejemplo, "antimicrobial resistance" OR "antibiotic resistance". El operador NOT se utilizó para excluir términos no relacionados con el objetivo de la revisión, aunque en esta investigación se empleó de forma limitada para evitar eliminar accidentalmente estudios relevantes.

Las comillas se utilizaron para buscar frases exactas, como "selective dry cow therapy". Los paréntesis permitieron organizar cadenas complejas, por ejemplo: ("mastitis" OR "dry cow therapy") AND ("antimicrobial resistance" OR "antibiotic resistance") AND ("dairy cattle" OR "dairy cows"). Esta forma de búsqueda permite recuperar estudios que relacionan mastitis o terapia de secado con resistencia antimicrobiana en bovinos lecheros.

Anexo 1.

Matriz ampliada de búsqueda bibliográfica.

Base o fuente consultada	Cadena de búsqueda utilizada	Idioma	Propósito de la búsqueda
PubMed	"antimicrobial resistance" AND "dairy cattle" AND "One Health"	Inglés	Identificar literatura biomédica sobre resistencia antimicrobiana en bovinos lecheros desde enfoque One Health.
PubMed	"mastitis" AND "antimicrobial use" AND "dairy cattle"	Inglés	Localizar estudios sobre uso de antimicrobianos en mastitis bovina.
PubMed	"dry cow therapy" AND "antimicrobial resistance" AND "dairy cattle"	Inglés	Recuperar evidencia sobre terapia de secado y resistencia antimicrobiana.
Scopus	("clinical mastitis" OR "subclinical mastitis") AND ("antimicrobial treatment" OR "antibiotic treatment") AND "dairy cows"	Inglés	Identificar estudios sobre tratamiento de mastitis clínica y subclínica.
Scopus	("selective dry cow therapy" OR "blanket dry cow therapy") AND "antimicrobial use"	Inglés	Comparar terapia de secado selectiva y terapia de secado en manto.
Web of Science	"antimicrobial stewardship" AND "dairy cattle" AND "mastitis"	Inglés	Localizar estudios sobre stewardship antimicrobiano en mastitis.
ScienceDirect	"antimicrobial resistance" AND	Inglés	Identificar estudios sobre resistencia

	"milk residues" AND "dairy cattle"		antimicrobiana y residuos en leche.
ScienceDirect	"antibiotic residues" AND "raw milk" AND "public health"	Inglés	Recuperar literatura sobre residuos antimicrobianos e inocuidad de leche.
Google Scholar	"antimicrobial use" AND "dairy cattle" AND "mastitis"	Inglés	Ampliar la recuperación de literatura científica y técnica.
Google Scholar	"selective dry cow therapy" AND "teat sealant" AND "dairy cows"	Inglés	Buscar evidencia sobre terapia de secado selectiva y selladores internos.
SciELO	"resistencia antimicrobiana" AND "bovinos lecheros"	Español	Identificar evidencia regional en español.
SciELO	"mastitis bovina" AND "resistencia antimicrobiana"	Español	Recuperar estudios latinoamericanos sobre mastitis y resistencia.
Redalyc	"residuos de antibióticos" AND "leche bovina"	Español	Localizar estudios regionales sobre residuos en leche.
PubMed Central	"antimicrobial resistance dairy cattle review"	Inglés	Recuperar revisiones de acceso abierto.
Frontiers	"mastitis" AND "antimicrobial resistance" AND "dairy cattle"	Inglés	Identificar artículos recientes sobre mastitis y resistencia.
Springer	"metritis" AND "dairy cattle" AND "antimicrobial therapy"	Inglés	Complementar información sobre uso terapéutico en otros síndromes infecciosos.
Nature	"transmission antimicrobial resistance" AND "One Health"	Inglés	Localizar evidencia sobre transmisión de resistencia entre sectores.

ASM Journals	"antimicrobial resistance surveillance" AND "dairy farms"	Inglés	Identificar estudios microbiológicos y de vigilancia.
FAO	"antimicrobial resistance" AND "dairy cattle" AND "One Health"	Inglés	Obtener documentos técnicos sobre resistencia antimicrobiana, producción animal y enfoque One Health.
WHO/OMS	"critically important antimicrobials human medicine"	Inglés	Sustentar la importancia de antimicrobianos críticos para salud humana.
WOAH	"responsible use antimicrobial agents veterinary medicine"	Inglés	Obtener lineamientos sobre uso responsable y prudente de antimicrobianos.
EMA	"DDDvet" AND "DCDvet" AND "antimicrobial use veterinary"	Inglés	Definir métricas estandarizadas de consumo antimicrobiano.
AGROCALIDAD	"resistencia antimicrobiana" AND "medicamentos veterinarios" AND "Ecuador"	Español	Identificar lineamientos nacionales sobre vigilancia y uso responsable.
MAG	"buenas prácticas pecuarias" AND "producción lechera" AND "Ecuador"	Español	Complementar información sobre prácticas pecuarias y producción nacional.
INIAP	"bovinos lecheros" AND "sanidad" AND "manejo" AND "Ecuador"	Español	Incorporar información técnica nacional sobre manejo sanitario.

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes y cadenas definidas para la revisión.

9.8. Gestión de referencias y depuración documental

Las referencias recuperadas fueron organizadas en Mendeley Reference Manager, herramienta que permitió almacenar los documentos, registrar datos bibliográficos, ordenar archivos en carpetas y facilitar la citación. Luego, se realizó un proceso de depuración documental para eliminar duplicados, verificar pertinencia inicial y organizar los registros en matrices de Microsoft Excel. La gestión ordenada de referencias es un componente esencial para revisar la evidencia porque permitió la trazabilidad del proceso y disminuyendo errores en la selección documental. La depuración posterior se vinculó con la matriz de selección de estudios, identificada como Anexo 2.

Los registros duplicados fueron identificados mediante el gestor bibliográfico y revisados manualmente. Se consideró duplicado todo documento que aparecía repetido en más de una base de datos o repositorio con el mismo título, autores, año y revista. Cuando existieron registros duplicados, se conservó una sola versión, priorizando aquella que contaba con texto completo, información bibliográfica completa o acceso directo al documento original.

Después de eliminar duplicados, se realizó una revisión de títulos y resúmenes para descartar documentos claramente ajenos al tema. Los documentos potencialmente relevantes fueron trasladados a una matriz en Microsoft Excel, en la cual se registraron autor, año, país, título, tipo de documento, base de datos de origen, objetivo del estudio, población o muestra, tema principal, relación con los objetivos, decisión de inclusión o exclusión y motivo de exclusión, cuando correspondió.

9.9. Selección de estudios

La selección de estudios se realizó en dos etapas: cribado por título y resumen, y revisión de texto completo. Mediante este proceso se relacionó los principios de transparencia de selección recomendados en guías de revisiones de evidencia, aunque en este estudio no se elaboró un diagrama PRISMA formal completo.

En la primera etapa se revisó el título y resumen de cada documento que deben tener concordancia directa con el tema de investigación. Se priorizo documentos que mencionen sobre bovinos lecheros, mastitis, terapia de secado, uso de antimicrobianos, resistencia antimicrobiana,

residuos en leche, ambiente, estiércol, resistoma, salud pública o enfoque One Health. Por ende documentos que no presentaban relación clara fueron excluidos.

En la segunda etapa, los documentos potencialmente elegibles fueron revisados en texto completo. La lectura permitió confirmar si el estudio aportaba información útil o no para responder al menos uno de los objetivos específicos. Mediante esta fase se valoró la pertinencia del tema, tipo de población estudiada, relación con bovinos lecheros, información sobre mastitis o terapia de secado, resistencia antimicrobiana, residuos en leche, información ambiental, calidad y claridad de los resultados, y disponibilidad de datos útiles para la matriz de extracción.

9.10. Criterios de inclusión

- Artículos científicos originales, revisiones científicas, revisiones sistemáticas, revisiones de alcance, guías técnicas o documentos normativos relacionados con el uso de antimicrobianos en bovinos lecheros.
- Estudios que abordaron temas sobre la mastitis clínica, subclínica, terapia de secado, secado selectiva, secado en manto o tratamientos intramamarios.
- Documentos que reportaron temas de resistencia antimicrobiana en patógenos de mastitis, bacterias indicadoras o asociadas a sistemas lecheros.
- Estudios que analizaron sobre los residuos de antimicrobianos en leche, los límites máximos de residuos, tiempos de retiro o métodos de detección.
- Investigaciones que describieron sobre la diseminación ambiental de bacterias resistentes, genes de resistencia antimicrobiana, resistoma, estiércol, purines, suelos, agua o efluentes ganaderos.
- Documentos que presentaron intervenciones de stewardship, diagnóstico microbiológico, protocolos terapéuticos, bioseguridad, terapia de secado selectiva, selladores internos o alternativas al uso antimicrobiano.
- Publicaciones en español o inglés.
- Documentos publicados principalmente entre 2021 y 2026, complementados con documentos normativos o metodológicos previos cuando fueran indispensables para definir conceptos o métricas.

9.11. Criterios de exclusión

- Publicaciones que no tengan relación con bovinos lecheros, cadena láctea, uso antimicrobiano, resistencia, residuos, ambiente o enfoque One Health.
- Estudios enfocados únicamente en salud humana hospitalaria sin conexión con animales, alimentos o ambiente.
- Estudios en especies animales no relacionadas con la producción lechera, salvo que aportaran información conceptual indispensable.
- Documentos sin texto completo disponible.
- Resúmenes de congresos sin desarrollo metodológico completo.
- Fuentes periodísticas, blogs, páginas informativas sin respaldo técnico o documentos de opinión sin base científica verificable.
- Registros duplicados.
- Estudios centrados exclusivamente en microbioma o resistoma sin relación con uso antimicrobiano, salud pública o ambiente.
- Publicaciones en idiomas diferentes al español o inglés.

9.12. Extracción de información

La información de los estudios fue extraída mediante matrices diseñadas de acuerdo con los objetivos específicos de la investigación. La extracción se realizó de forma narrativa y comparativa, registrando datos relevantes de cada documento. Donde permitió mantener correspondencia entre los objetivos de la revisión, los datos extraídos y la síntesis final de resultados. Estas matrices se organizaron como anexos metodológicos para facilitar la trazabilidad entre objetivos, datos extraídos y resultados sintetizados.

9.12.1. Datos generales extraídos

De cada estudio se registró autor y año, país o región, tipo de estudio, objetivo, población o muestra, método utilizado, variables principales, resultados relevantes, conclusiones, limitaciones y relación con el enfoque One Health.

9.12.2. Datos extraídos para el objetivo específico 1

Para caracterizar los patrones de uso de antimicrobianos se recopilo información sobre enfermedad o condición tratada, mastitis clínica, subclínica, terapia de secado, tipo de indicación,

clase antimicrobiana, énfasis en cefalosporinas, vía de administración, uso intramamario, uso sistémico, criterio diagnóstico utilizado, métrica de consumo cuando estuvo disponible, terapia de secado selectiva o en manto y uso de selladores internos de pezón.

9.12.3. Datos extraídos para el objetivo específico 2

Se sintetizo la relación entre el uso antimicrobiano, resistencia y residuos se obtuvo información sobre patógeno o bacteria indicadora, método de aislamiento, prueba de susceptibilidad antimicrobiana, perfil de resistencia, presencia de multirresistencia, asociación con uso terapéutico o preventivo, residuos antimicrobianos en leche, método de detección de residuos, cumplimiento de límites máximos de residuos, cumplimiento de tiempos de retiro, rechazo de leche o tanque debido a las implicaciones para salud pública.

9.12.4. Datos extraídos para el objetivo específico 3

Se describió la diseminación ambiental del resistoma y las intervenciones de stewardship se tomó información sobre vía ambiental descrita, estiércol, purines, aguas residuales, suelo, agua, genes de resistencia antimicrobiana, co-selección, compostaje, biodigestión, almacenamiento de estiércol, diagnóstico microbiológico, protocolos de tratamiento. Estos datos fueron organizados en la matriz de diseminación ambiental del resistoma e intervenciones de stewardship, identificada como Anexo4.

9.13. Organización de la evidencia

Cada matriz respondió a un objetivo específico y permitió comparar la evidencia entre autores, países, tipos de estudio y resultados. Se utilizo matrices: búsqueda bibliográfica, selección de estudios, caracterización de estudios incluidos, patrones de uso antimicrobiano en mastitis y terapia de secado, resistencia antimicrobiana y residuos en leche, matriz de diseminación ambiental del resistoma y intervenciones de stewardship. En el documento final, estas matrices se presentan como anexos para no sobrecargar el cuerpo metodológico y para permitir al lector verificar de manera directa cómo se registró la evidencia.

La organización de la evidencia permitió evitar una presentación desordenada de resultados y facilitó la relación directa entre metodología, objetivos específicos, análisis y conclusiones.

Tabla 11.

Relación entre fases metodológicas y anexos de matrices utilizadas

Anexo	**Matriz**	**Contenido principal**	**Fase metodológica relacionada**
Anexo 1	Matriz de búsqueda bibliográfica	Registra bases consultadas, fechas, cadenas de búsqueda, idioma, resultados recuperados y propósito de cada búsqueda.	Búsqueda bibliográfica estructurada y uso de operadores booleanos.
Anexo 2	Matriz de selección de estudios científicos	Registra título, año, país, enfoque One Health, idioma, decisión de inclusión o exclusión y motivo de la decisión.	Cribado por título/resumen, revisión de texto completo y aplicación de criterios de inclusión y exclusión.
Anexo 3	Matriz de caracterización de estudios incluidos	Registra autor, año, objetivo, tipo de estudio, población, lugar, método, variables, resultados, conclusiones y limitaciones.	Caracterización general de la evidencia seleccionada.
Anexo 4	Matriz de síntesis de la evidencia científica del AMR de la cadena láctea bajo el enfoque One Health	Registra enfermedad o práctica, indicación terapéutica, metafiláctica o profiláctica, clase antimicrobiana, vía, métrica de uso y hallazgo clave.	Extracción y análisis del objetivo específico 1, 2 y 3.
		Registra agente bacteriano o indicador, método de sensibilidad, patrón de resistencia, tipo de uso, residuos, límites máximos de residuos, tiempo de retiro y conclusión.	
		Registra vía ambiental, genes de resistencia, hallazgos, intervención aplicada, resultado y aplicabilidad en producción lechera.	

Fuente. Los anexos metodológicos permiten mantener la trazabilidad entre la búsqueda, selección, extracción y síntesis de la evidencia. Los anexos 1 a 4 deben incorporarse al final del documento de investigación o conservarse como soporte metodológico verificable.

9.14. Síntesis de la evidencia

Se realizó una síntesis narrativa permitiendo integrar resultados procedentes de estudios con diferentes diseños, poblaciones, metodologías, indicadores y contextos productivos. No se analizó metaanálisis porque los estudios no fueron suficientemente homogéneos en cuanto a diseño metodológico, población evaluada, antimicrobianos analizados, definiciones de uso terapéutico y preventivo, métodos de diagnóstico, métodos de susceptibilidad antimicrobiana, indicadores de resistencia, métodos de detección de residuos, variables ambientales e intervenciones de stewardship.

La síntesis narrativa permitió identificar patrones comunes, diferentes entre estudios, vacíos de conocimiento y recomendaciones aplicables a la producción bovina lechera. Los resultados se organizaron de acuerdo con los objetivos específicos y posteriormente se interpretaron bajo el enfoque One Health.

9.15. Análisis según objetivos específicos

9.15.1. Análisis del objetivo específico 1

Se agrupo los estudios que describían el uso de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado. Se comparo las indicaciones terapéuticas, metafilácticas y profilácticas, las clases antimicrobianas utilizadas, las vías de administración y las estrategias de reducción de uso. El análisis permitió diferenciar el uso dirigido en animales enfermos del uso preventivo generalizado, especialmente en la terapia de secado.

9.15.2. Análisis del objetivo específico 2

Se analizó estudios que reportaban resistencia antimicrobiana y residuos en leche. Se compararon los patógenos de mastitis, bacterias indicadoras, perfiles de resistencia, métodos de detección, presencia de residuos y cumplimiento de tiempos de retiro. Este análisis permitió relacionar el uso terapéutico y preventivo con posibles consecuencias para salud pública e inocuidad alimentaria.

9.15.3. Análisis del objetivo específico 3

Se organizo estudios que describían rutas ambientales del resistoma e intervenciones de stewardship. Se analizó las vías de diseminación por estiércol, purines, suelos, aguas residuales y

ambiente, así como intervenciones como compostaje, biodigestión, diagnóstico, protocolos terapéuticos, terapia de secado selectiva y bioseguridad. Este análisis permitió integrar la dimensión ambiental dentro del enfoque One Health.

9.16. Consideraciones sobre calidad y limitaciones metodológicas

Al tratarse de una revisión bibliográfica estructurada con aproximación sistemática, no se aplicó la herramienta formal de evaluación de riesgo de sesgo. Por ende, se consideraron aspectos básicos de calidad metodológica durante la selección y análisis de los documentos, como objetivo claramente definido, población o muestra descrita, método de diagnóstico o medición explicado, resultados relacionados con los objetivos, conclusiones coherentes con los datos, fuente científica o institucional verificable y texto completo disponible.

Las principales limitaciones metodológicas de la revisión fueron la heterogeneidad entre diseños de estudio, diferencias entre países y sistemas productivos, variabilidad en métodos de diagnóstico y puntos de corte, diferencias en formas de medir el uso antimicrobiano, limitada disponibilidad de datos comparables sobre residuos y ambiente, posible subrepresentación de estudios locales, inclusión de documentos técnicos y normativos junto con estudios científicos, ausencia de metaanálisis y ausencia de evaluación formal de riesgo de sesgo.

9.17. Consideraciones éticas

Al tratarse de una revisión bibliográfica basada en documentos previamente publicados, no se trabajó con animales vivos, muestras biológicas, datos personales de productores ni información confidencial. Por esta razón, no se requirió aprobación de un comité de ética para experimentación animal o investigación con seres humanos. No obstante, se mantuvieron principios de integridad académica mediante uso responsable de la información científica, evitación de plagio, respeto a los derechos de autor, presentación transparente de criterios metodológicos.

9.18. Alcance de la revisión

El ámbito de este estudio se circunscribe a la información científica existente relacionada con ganado bovino lechero, el uso terapéutico y preventivo de antimicrobianos, la aparición de resistencia a estos fármacos, la presencia de residuos en la leche, su repercusión en el entorno y las medidas de gestión responsable, todo ello desde la perspectiva de Una Salud. No se buscó

calcular un efecto global unificado ni demostrar una relación causal directa entre el consumo de antimicrobianos y la resistencia en todos los sistemas productivos. El objetivo central consistió en realizar una síntesis crítica de la evidencia recopilada, señalar tendencias generales, describir los riesgos más relevantes y ofrecer una interpretación integrada de la problemática.

9.19. Descripción general del proceso metodológico

El proceso metodológico se desarrolló en fases secuenciales y relacionadas entre sí, desde la delimitación de la pregunta hasta la síntesis final. Este procedimiento permitió mantener una ruta transparente y coherente con los objetivos del estudio.

1. Delimitación del tema y formulación de la pregunta mediante estrategia PECO.
2. Identificación de palabras clave en español e inglés.
3. Construcción de cadenas de búsqueda con operadores booleanos.
4. Consulta en bases científicas y organismos técnicos.
5. Registro de resultados por fuente consultada.
6. Gestión de referencias en Mendeley Reference Manager.
7. Eliminación de duplicados.
8. Cribado por título y resumen.
9. Revisión de texto completo.
10. Aplicación de criterios de inclusión y exclusión.
11. Recolección y organización de la información en matrices.
12. Organización de resultados por objetivo específico.
13. Síntesis narrativa de la evidencia.
14. Interpretación bajo enfoque One Health.

En cada una de estas etapas se indicó la matriz respectiva: el Anexo 1 reúne los registros de la búsqueda; el Anexo 2, los criterios y resultados de selección; el Anexo 3, la caracterización de los estudios; y el Anexo 4, la información sobre uso de antimicrobianos, resistencia, residuos, impacto ambiental y estrategias de gestión responsable.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados se organizaron en tabla para sintetizar de acuerdo a los tres objetivos específicos. Esta información se extrajo mediante artículos científicos, documentos técnicos seleccionados, donde se consideró los antimicrobianos utilizados en mastitis y terapia de secado, el tipo de indicación, los patrones de resistencia, los residuos en leche, las vías ambientales de diseminación del resistoma y las intervenciones de gestión responsable.

10.1. Patrones de uso antimicrobiano en mastitis y terapia de secado

Para realizar el primer objetivo específico, se analizó patrones de uso de antimicrobianos en mastitis clínica y subclínica, las vías de administración, los criterios terapéuticos, la terapia de secado en manto y selectiva, los selladores internos y las decisiones basadas en diagnóstico. Por ende, estos resultados ayudaron a diferenciar el uso terapéutico que se aplicado en animales enfermos, el uso profiláctico administrado a ejemplares aparentemente sanas, de esta manera se identificó estrategias que están destinadas a reducir los tratamientos innecesarios. En la Tabla 12 se presentan los tipos de indicación, criterios de aplicación y resultados identificados en la evidencia revisada.

Tabla 12.

Patrones de uso de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado en bovinos lecheros

Escenario de uso	Tipo de indicación	Uso antimicrobiano habitual	Criterio de aplicación	Implicación para la revisión
Mastitis clínica	Terapéutica	Tratamiento intramamario con betalactámicos, como benzilpenicilina, penicilina procaínica, amoxicilina, ampicilina, cloxacilina y cefalosporinas autorizadas. En casos graves puede aplicarse tratamiento sistémico o combinado.	Signos clínicos, alteración de la leche, inflamación de la ubre, dolor, fiebre, deshidratación, cultivo, gravedad y susceptibilidad bacteriana.	Constituye uno de los principales motivos de uso terapéutico de antimicrobianos en vacas lecheras. La selección debe considerar el agente causal y la gravedad clínica.

Mastitis subclínica	Terapéutica dirigida o estratégica	Tratamiento intramamario con penicilina, amoxicilina o cefalosporinas, especialmente en infecciones susceptibles ocasionadas por *Streptococcus agalactiae*.	CCS, prueba de California, cultivo bacteriológico, antibiograma, historial de mastitis y riesgo de transmisión dentro del hato.	Puede generar tratamientos innecesarios y descarte de leche cuando se aplica sin identificar el microorganismo o valorar la posibilidad de curación.
Terapia de secado en manto —BDCT—	Profiláctica	Aplicación intramamaria de formulaciones de acción prolongada con cloxacilina, cefalonio, cefapirina, penicilina o combinaciones con novobiocina a todas las vacas.	Aplicación generalizada al finalizar la lactancia, independientemente de la existencia de infección intramamaria.	Produce una elevada exposición antimicrobiana porque incluye vacas y cuartos mamarios sin evidencia de infección.
Terapia de secado selectiva —SDCT—	Terapéutica o preventiva dirigida	Aplicación de cloxacilina, cefalonio, cefapirina, penicilina u otras formulaciones autorizadas solamente en vacas o cuartos seleccionados.	CCS, cultivo bacteriológico, antecedentes de mastitis, registros sanitarios y riesgo individual de infección.	Reduce el número de animales expuestos a antimicrobianos sin abandonar el tratamiento de las infecciones existentes.
Sellador interno del pezón	Preventiva no antimicrobiana	No contiene antibióticos; se administra por vía intramamaria y forma una barrera física en el canal del pezón.	Aplicación al secado en cuartos sin evidencia de infección, solo o acompañado de terapia antimicrobiana selectiva.	Permite prevenir nuevas infecciones intramamarias sin generar presión antimicrobiana directa.
Tratamiento empírico	Terapéutica no confirmada	Uso de penicilinas, cefalosporinas, lincosamidas u otras formulaciones según la experiencia, los protocolos habituales o la disponibilidad del producto.	Decisión basada en signos clínicos y antecedentes, sin cultivo ni antibiograma.	Puede ocasionar el tratamiento de casos sin crecimiento bacteriano o producidos por agentes con baja probabilidad de responder al medicamento.

Tratamiento basado en diagnóstico	Terapéutica racional	Selección del principio activo según cultivo, antibiograma, gravedad clínica y protocolos veterinarios.	Identificación del agente causal, susceptibilidad bacteriana, antecedentes del animal y condición clínica.	Permite concentrar el uso en las infecciones con mayor probabilidad de curación y reducir el tratamiento empírico.

Nota. BDCT: *blanket dry cow therapy* (terapia de secado en manto); SDCT: *selective dry cow therapy* (terapia de secado selectiva); CCS: conteo de células somáticas. ***Fuente.*** Elaboración propia con base en (Kabera et al., 2021), (Timonen et al., 2022), (Fernandes et al., 2021), (Skjølstrup et al., 2021) (Gonçalves et al., 2022), (Ruegg, 2022), (Farrell et al., 2023), (de Jong et al., 2024), (Okello et al., 2023), (Müller et al., 2023) (Paiva et al., 2024a), (Pires et al., 2024), (Rico et al., 2024), (Martin et al., 2024)(Creytens et al., 2026), (Obritzhauser et al., 2020), (Roșu et al., 2026b)

Los estudios analizados señalan que los betalactámicos constituyeron el principal grupo empleado para tratar la mastitis clínica. Dentro de esta clase se identificaron benzilpenicilina, penicilina procaínica, amoxicilina, ampicilina y cloxacilina, además de diferentes cefalosporinas. Por ende, se reportaron lincosamidas y formulaciones combinadas con aminoglucósidos, debido a que su utilización dependió de productos que fueron autorizados por casa país. La vía intramamaria se predominó en los cuadros clínicos leves y moderados, mientras que la administración sistémica o combinada se reservó principalmente para ejemplares que contenían fiebre, deshidratación, pérdida del apetito, compromiso general o riesgo de septicemia.

Además, según Timonen et al. analizaron 11,420 tratamientos administrados a 8,554 ejemplares que pertenecen a 43 rebaños y se registraron variaciones en la selección del medicamento y la vía de administración según el diagnóstico, las características del rebaño y las prácticas de prescripción veterinaria (Farrell et al., 2023; Gonçalves et al., 2022; Pires et al., 2024; Ruegg, 2022; Timonen et al., 2022).

En la mastitis subclínica se reportó el uso intramamario de penicilina, amoxicilina y cefalosporinas, especialmente en infecciones ocasionadas por *Streptococcus agalactiae*. Para este microorganismo se registraron tasas de curación comprendidas entre el 75 % y el 90 % cuando se utilizaron productos autorizados y el aislamiento presentó susceptibilidad. La decisión de tratar se fundamentó en el reconteo de células somáticas, la prueba de California, el cultivo microbiológico, el antibiograma y los antecedentes clínicos del animal. Un reconteo superior a 200 000 células/mL

se utilizaron como indicador de una infección intramamaria, aunque los estudios señalaron que este resultado debía complementarse con la identificación bacteriana. Roșu et al. evaluaron muestras de 117 ejemplares con mastitis subclínica y destacaron la variabilidad de la susceptibilidad bacteriana entre especies y explotaciones (de Jong et al., 2024; Fernandes et al., 2021; Rico et al., 2024; Roșu et al., 2026b).

Durante la terapia de secado se logró identificar mediante formulaciones intramamarias de acción prolongada que contenían principalmente cloxacilina, cefalonio, cefapirina, penicilina o combinaciones con novobiocina. Estos activos se utilizaron con una finalidad terapéutica cuando existía una infección intramamaria y con una finalidad profiláctica cuando se administraron a ejemplares sin evidencia de infección. En la terapia de secado en manto, el antimicrobiano se aplicó a todas las vacas; por ende, en la terapia selectiva solamente se trataron a los animales o cuartos mamarios identificados mediante conteo de células somáticas, cultivo, antecedentes de mastitis y registros sanitarios (Müller et al., 2023; Obritzhauser et al., 2020; Okello et al., 2023; Paiva et al., 2024a).

La comparación cuantitativa mostró que la terapia de secado en manto produjo la exposición antimicrobiana del 100 % de las vacas. Paiva et al. evaluaron 1,360 animales y encontraron que dos algoritmos de terapia selectiva redujeron la proporción de vacas tratadas al 51,3 % y al 24,7 %, respectivamente. La incidencia posterior de mastitis clínica fue del 19,6 % y 19,4 % en los grupos selectivos y del 21,4 % en el grupo tratado en manto. Según Kabera et al., analizo 13 artículos correspondientes, 12 ensayos, donde se registraron una reducción del 66 % en el uso de antimicrobianos al aplicar terapia de secado selectiva. Cuando los cuartos no tenían infección recibieron un sellador interno, donde no se observaron diferencias entre las estrategias selectiva y en manto respecto de nuevas infecciones, mastitis clínica, producción de leche o conteo de células somáticas; cuando no se utilizó el sellador, el riesgo de una nueva infección fue dos veces mayor en los cuartos no tratados con antibióticos (de Jong et al., 2024; Kabera et al., 2021; Paiva et al., 2024a)

Para limitar el tratamiento empírico se incluyó el cultivo bacteriológico, las pruebas de susceptibilidad, la gravedad clínica, los registros sanitarios y el seguimiento veterinario. Mediante el cultivo que se realizó en la finca permitió obtener una clasificación preliminar entre 24 y 48

horas y se diferenció infecciones producidas por bacterias grampositivas, gramnegativas y muestras sin crecimiento. Por ende, se cuenta con registros de información sobre el medicamento, dosis, vía, duración y tiempo de retiro, mientras que la asesoría veterinaria permitió establecer protocolos para mastitis clínica y terapia de secado. Las limitaciones reportadas para aplicar estas medidas fueron el costo de los análisis, el tiempo de respuesta, el transporte de las muestras, los registros incompletos y la falta de capacitación del personal (Creytens et al., 2026; Martin et al., 2024; Skjølstrup et al., 2021).

10.2. Clasificación del uso terapéutico y profiláctico en bovinos lecheros

Para cumplir el primer objetivo específico, se clasificaron las modalidades de uso de antimicrobianos según la condición sanitaria del animal y el propósito de su administración. Mediante la evidencia se permitió diferenciar el tratamiento terapéutico que se aplicó en ejemplares enfermas, el uso terapéutico dirigido mediante criterios diagnósticos, la aplicación profiláctica en animales aparentemente sanos y las medidas preventivas que no contienen antimicrobianos. Mediante la clasificación se complementó la caracterización de los patrones de uso en mastitis y terapia de secado. En la Tabla 13 se presentan las definiciones, ejemplos y principales riesgos o resultados identificados para cada modalidad.

Tabla 13.

Clasificación del uso terapéutico y profiláctico en bovinos lecheros

Tipo de uso	Definición aplicada al tema	Ejemplo en la cadena láctea	Riesgo o resultado principal
Uso terapéutico	Administración de antimicrobianos a vacas con signos clínicos o con una infección identificada. La elección considera la gravedad, el agente probable y los antecedentes del animal.	Tratamiento intramamario de mastitis clínica con benzilpenicilina, penicilina procaínica, amoxicilina, ampicilina, cloxacilina o una cefalosporina autorizada. En casos graves puede utilizarse tratamiento sistémico o combinado.	Puede ocasionar presión de selección y residuos en leche cuando se elige incorrectamente el medicamento, se prolonga innecesariamente el tratamiento o no se respeta el tiempo de retiro.

Uso terapéutico dirigido	Tratamiento de una vaca o cuarto mamario con base en cultivo, antibiograma, CCS, gravedad clínica y antecedentes sanitarios.	Tratamiento de mastitis subclínica confirmada, especialmente ante infecciones susceptibles por *Streptococcus agalactiae*, o tratamiento al secado de una vaca con evidencia de infección intramamaria.	Disminuye los tratamientos innecesarios y concentra el uso en infecciones con mayor probabilidad de curación, aunque requiere diagnóstico y registros confiables.
Uso profiláctico	Administración preventiva de antimicrobianos a animales aparentemente sanos ante un riesgo de infección.	Terapia de secado en manto mediante cloxacilina, cefalonio, cefapirina, penicilina o combinaciones con novobiocina aplicadas a todas las vacas al finalizar la lactancia.	Incrementa el número de animales expuestos y la presión de selección potencial porque también incluye vacas o cuartos sin evidencia de infección.
Prevención no antimicrobiana	Aplicación de medidas que reducen el riesgo de mastitis sin utilizar antibióticos.	Selladores internos del pezón, higiene antes y después del ordeño, mantenimiento del equipo, bioseguridad, vacunación, registros sanitarios y manejo adecuado de camas y estiércol.	Reduce la aparición de nuevas infecciones y la necesidad posterior de tratamientos antimicrobianos; su efectividad depende de una aplicación correcta y continua.

Nota. CCS: conteo de células somáticas. ***Fuente.*** Elaboración propia con base en (Kabera et al., 2021), (Timonen et al., 2022), (Fernandes et al., 2021; Skjølstrup et al., 2021), (Skjølstrup et al., 2021), (Ruegg, 2022), (Farrell et al., 2023), (de Jong et al., 2024), (Müller et al., 2023), (Mata et al., 2023b), (Li et al., 2023), (Okello et al., 2023), (Paiva et al., 2024a), (Pires et al., 2024), (Rico et al., 2024), (Martin et al., 2024), (Creytens et al., 2026), (Obritzhauser et al., 2020), (Roșu et al., 2026b)

Según los estudios se clasifico como terapéutico el uso de antimicrobianos que fue aplicado al ganado que contenía mastitis clínica o una infección intramamaria identificada. Los fármacos con mayor frecuencia pertenecieron a los betalactámicos, entre ellos benzilpenicilina, penicilina procaínica, amoxicilina, ampicilina y cloxacilina, además de cefalosporinas autorizadas. La administración intramamaria predominó en los casos leves y moderados, mientras que la vía sistémica o combinada se utilizó en animales que tienen fiebre, deshidratación, anorexia o compromiso general. La mastitis se mantuvo como una de las principales causas de tratamiento

antimicrobiano en las explotaciones lecheras (Farrell et al., 2023; Gonçalves et al., 2022; Pires et al., 2024; Ruegg, 2022; Timonen et al., 2022).

El uso terapéutico dirigido se diferenció del tratamiento empírico porque incorporó información clínica, microbiológica y productiva para seleccionar los casos que requerían antimicrobianos. Entre los criterios reportados se encontraron el cultivo de leche, el antibiograma, el conteo de células somáticas, la prueba de California, la gravedad clínica, los antecedentes de mastitis y los registros del animal. El cultivo que se realizó en una finca permitió obtener una clasificación preliminar entre 18 y 48 horas, donde se diferenció bacterias grampositivas, gramnegativas y muestras sin crecimiento. Por ende, esta información se utilizó para evitar el tratamiento de casos con baja probabilidad de responder a los antibióticos, aunque su aplicación estuvo condicionada por el acceso a pruebas, costos, capacitación y tiempo de respuesta (Creytens et al., 2026; de Jong et al., 2024; Fernandes et al., 2021; Martin et al., 2024; Rico et al., 2024; Roșu et al., 2026b; Skjølstrup et al., 2021).

El principal uso profiláctico identificado fue la terapia de secado en manto, en la cual se administraron formulaciones intramamarias de acción prolongada con cloxacilina, cefalonio, cefapirina, penicilina o combinaciones con novobiocina a todos los ejemplares al finalizar la lactancia. De acuerdo con Paiva et al. evaluaron 1,360 ganados y registraron una exposición del 100 % en el grupo sometido a terapia en manto, frente al 51,3 % y 24,7 % en dos grupos seleccionados mediante algoritmos sanitarios. La incidencia posterior de mastitis clínica fue del 21,4 % en el grupo tratado en manto y del 19,6 % y 19,4 % en los dos grupos selectivos, respectivamente (Müller et al., 2023; Obritzhauser et al., 2020; Okello et al., 2023; Paiva et al., 2024a).

Entre las medidas preventivas no antimicrobianas se identificaron los selladores internos del pezón, la higiene del ordeño, la bioseguridad, la vacunación, el mantenimiento de equipos y el manejo adecuado de camas y estiércol. Además, Kabera et al. registraron una reducción del 66 % en el uso de antimicrobianos con la terapia de secado selectiva. Cuando a los cuartos no tratados se les coloco sellador interno, donde no se observaron diferencias frente a la terapia en manto en la aparición de nuevas infecciones, mastitis clínica, producción de leche o conteo de células somáticas. En la evaluación de vacunación contra patógenos gramnegativos, el 67 % de las

infecciones presentes el progresó de la mastitis clínica en el grupo de control, frente al 20 % en las vacas vacunadas. Las revisiones sobre vacunación y otras alternativas preventivas registraron resultados variables según el patógeno, la formulación, el esquema de aplicación y las condiciones de la finca (de Jong et al., 2024; Kabera et al., 2021; Mata et al., 2023b).

10.3. Relación entre el uso antimicrobiano y los patrones de resistencia

Para realizar el segundo objetivo específico, se sintetizó la evidencia sobre la relación entre el uso terapéutico y preventivo de antimicrobianos en mastitis y terapia de secado y los patrones de resistencia identificados en patógenos mamarios, bacterias indicadoras y microorganismos presentes en la leche y el ambiente. En la tabla 14 se presentan los grupos bacterianos analizados, la relación con la exposición antimicrobiana, los principales fenotipos y genes de resistencia y su importancia bajo el enfoque One Health.

Tabla 14.

Relación entre uso microbiano y resistencia en patógenos de mastitis y bacterias de resistencia

Grupo bacteriano	Ejemplos relevantes	Relación con el uso antimicrobiano	Patrones de resistencia de interés	Importancia One Health
Patógenos contagiosos de mastitis	*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Mycoplasma bovis* y *Corynebacterium bovis*	Las infecciones persistentes o recurrentes pueden ocasionar tratamientos intramamarios repetidos durante la lactancia y el secado. La exposición reiterada favorece la selección de cepas resistentes, aunque el comportamiento varía según el microorganismo y el antimicrobiano utilizado.	En *S. aureus* se identificó resistencia a penicilina, meticilina, tetraciclinas, macrólidos y lincosamidas, relacionada con genes como blaZ, mecA, mecC, tetK, tetM, ermB, ermC y lnuA. En *S. agalactiae* se registró resistencia principalmente a tetraciclina y sulfadimetoxina. *M. bovis* presenta	Pueden persistir en la glándula mamaria, transmitirse durante el ordeño y provocar tratamientos recurrentes, descarte de leche y exposición ocupacional.

			resistencia intrínseca a betalactámicos porque carece de pared celular.	
Patógenos ambientales de mastitis	*Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Streptococcus uberis* y *Streptococcus dysgalactiae*	La exposición se relaciona con tratamientos de mastitis y con la presencia de antimicrobianos, bacterias resistentes y genes de resistencia en camas, estiércol, agua y suelo.	En *E. coli* y *Klebsiella* spp. se identificó resistencia a ampicilina, cefalosporinas, tetraciclinas, sulfonamidas, aminoglucósidos y fluoroquinolonas. Se consideraron genes como blaTEM, blaSHV, blaCTX-M, tetM, sul1, sul2, dfrA, qnrA, qnrB, qnrS y aac(6′)-Ib-cr. En *S. uberis* se reportó resistencia a tetraciclinas, macrólidos y lincosamidas.	Relacionan la salud de la ubre con las condiciones ambientales de la finca y pueden circular entre animales, estiércol, agua, suelo y trabajadores.
Bacterias indicadoras intestinales	*E. coli* comensal, *Enterococcus faecalis* y *Enterococcus faecium*	Su resistencia refleja la presión de selección producida por diferentes exposiciones antimicrobianas en el hato, aunque estas bacterias no sean la causa directa de mastitis. Se eliminan mediante las heces y pueden llegar al	En *E. coli* comensal se consideró resistencia a ampicilina, tetraciclinas, sulfonamidas, aminoglucósidos, cefalosporinas y fluoroquinolonas. En *Enterococcus* spp. se identificó resistencia a tetraciclinas,	Funcionan como indicadores de la resistencia presente en la interfaz animal-ambiente y como posibles reservorios de genes móviles

		estiércol, agua, suelo o leche.	macrólidos, aminoglucósidos y glucopéptidos, relacionada con genes como tetM, tetK, ermB, vanA y vanB.	transferibles a otras bacterias.
Bacterias presentes en leche de tanque	Estafilococos no aureus o coagulasa negativos, *S. aureus*, enterococos, enterobacterias y otras bacterias presentes en leche cruda	Su presencia puede relacionarse con mastitis clínica o subclínica, contaminación fecal, higiene deficiente del ordeño, equipos contaminados o mezcla de leche procedente de distintos animales.	Se identificaron fenotipos de resistencia a penicilina, meticilina, tetraciclinas, eritromicina y clindamicina. Entre los genes de interés se encontraron blaZ, mecA, tetK, tetM, ermC y lnuA, además de genes productores de betalactamasas en enterobacterias.	Conectan la salud animal y las prácticas de la finca con la inocuidad de la leche, la exposición del consumidor y la posible dispersión de bacterias resistentes en la cadena láctea.
Microbiota ambiental	Bacterias presentes en estiércol, purines, camas, suelo, aguas residuales, agua superficial y agua subterránea	Puede recibir antimicrobianos excretados, metabolitos, bacterias resistentes y genes procedentes de animales tratados. Estas condiciones pueden mantener la selección y transferencia de resistencia en el ambiente.	Se identificaron genes de resistencia a tetraciclinas (tetM, tetW), sulfonamidas (sul1, sul2), macrólidos y lincosamidas (ermB) y betalactámicos (genes bla), además de integrones y otros elementos genéticos móviles.	Constituye un reservorio ambiental desde el cual la resistencia puede circular hacia animales, cultivos, agua, fauna silvestre, trabajadores y comunidades.

Nota. ARGs: *antimicrobial resistance genes* (genes de resistencia antimicrobiana); BLEE: betalactamasas de espectro extendido. ***Fuente.*** Elaboración propia con base en (Xue et al., 2021), (Tomanić et al., 2022), (Wataradee et al., 2023), (Okello et al., 2023), (Pires et al., 2024), (Collis et al., 2024a), (Fonseca et al., 2023), (Sweeney et al., 2024), (Yu et

al., 2025), (Wang et al., 2024), (Zalewska et al., 2024), (Morandi et al., 2024), (Mahdy & Mohamed, 2022), (Roșu et al., 2026b), (Tong et al., 2025), (Urrutia-Angulo et al., 2025)

Algunos de los autores reportaron que *Staphylococcus aureus* los principales fenotipos correspondieron a resistencia a penicilina, meticilina, tetraciclinas, macrólidos y lincosamidas. Donde se identificaron los genes: blaZ, está relacionado con la producción de betalactamasa; mecA y mecC, están asociados con resistencia a meticilina y otros betalactámicos; tetK y tetM, están vinculados con tetraciclinas; y ermB, ermC y lnuA, se encuentran relacionados con macrólidos y lincosamidas. En las muestras de leche cruda se registró resistencia a meticilina en el 10,6 % de los aislamientos de *S. aureus*. Para *Streptococcus agalactiae* se reportó una susceptibilidad del 99 % a penicilina y eritromicina y del 98 % a ceftiofur, junto con resistencia del 33 % a tetraciclina y del 50 % a sulfadimetoxina (Morandi et al., 2024; Tong et al., 2025; Wataradee et al., 2023).

En *Escherichia coli* y *Klebsiella* spp. se reportó resistencia a ampicilina, cefalosporinas, tetraciclinas, sulfonamidas, aminoglucósidos y fluoroquinolonas. Donde se incluyeron los genes registrados blaTEM, blaSHV y blaCTX-M, se encuentran asociados con betalactamasas de espectro extendido; tetM, relacionado con tetraciclinas; sul1 y sul2, vinculados con sulfonamidas; dfrA, relacionado con trimetoprima; y qnrA, qnrB, qnrS y aac(6′)-Ib-cr, asociados con quinolonas. En *Streptococcus uberis* se identificó la resistencia a tetraciclinas, macrólidos y lincosamidas, mientras que varios aislamientos conservaron susceptibilidad a penicilinas (Mahdy & Mohamed, 2022; Pires et al., 2024; Roșu et al., 2026b; Sweeney et al., 2024; Yu et al., 2025).

En *E. coli* comensal se registró resistencia a ampicilina, tetraciclinas, sulfonamidas, aminoglucósidos, cefalosporinas y fluoroquinolonas. En *Enterococcus faecalis* y *Enterococcus faecium* se logró identificar la resistencia a tetraciclinas, macrólidos, aminoglucósidos y glucopéptidos. En muestras de las vacas con mastitis subclínica se reportó multirresistencia en el 20,6 % de los aislamientos obtenidos de leche y en el 6,8 % de los procedentes de estiércol. El gen vanA fue detectado en el 96 % de los aislamientos de *E. faecalis*, junto con los genes tetM y tetK (Fonseca et al., 2023; Okello et al., 2023; Pires et al., 2024; Roșu et al., 2026b).

En la leche cruda y en el tanque se identificaron *S. aureus*, estafilococos coagulasa negativos, enterococos y enterobacterias resistentes. Los estafilococos coagulasa negativos

presentaron resistencia a penicilina, meticilina, tetraciclinas, eritromicina y clindamicina, asociada con los genes blaZ, mecA, tetK, ermC y lnuA. La resistencia a meticilina fue registrada en el 14,6 % de los estafilococos coagulasa negativos y en el 10,6 % de los aislamientos de *S. aureus* procedentes de leche cruda (Roșu et al., 2026b; Tong et al., 2025; Urrutia-Angulo et al., 2025).

Durante las muestras ambientales se detectaron los genes tetM y tetW, que se encuentran relacionados con tetraciclinas; sul1 y sul2, asociados con sulfonamidas; ermB, vinculado con macrólidos y lincosamidas; y diferentes genes, relacionados con betalactámicos. Por ende, se registró integrones, plásmidos y otros elementos genéticos móviles en estiércol, purines, camas, suelo y agua. En el resistoma ruminal de 48 vacas lecheras se identificaron genes con capacidad potencial para conferir resistencia frente a 26 clases de antimicrobianos (Collis et al., 2024a; Fonseca et al., 2023; Urrutia-Angulo et al., 2025; Wang et al., 2024; Xue et al., 2021; Zalewska et al., 2024).

10.4. Residuos de antimicrobianos en leche e implicaciones para la salud publica

Para llevar a cabo el cumplimiento del tercer objetivo específico, se sistematizó la evidencia relacionada con los puntos de la cadena láctea en los que pueden ingresar residuos antimicrobianos. Mediante la revisión de estudios y documentos técnicos revisados permitieron identificar situaciones de riesgo durante el tratamiento de la mastitis, la terapia de secado, el ordeño, el almacenamiento, el acopio y el procesamiento de la leche. Asimismo, se recopilo las principales consecuencias sanitarias, productivas y económicas, junto con las medidas empleadas para evitar la comercialización de leche que supere los límites máximos de residuos. En la tabla 15 se representa la síntesis de esta información.

Tabla 15.

Residuos de antimicrobianos en leche e implicaciones para la salud publica

Punto crítico	Situación de riesgo	Consecuencia posible	Medida de control
Tratamiento de mastitis durante la lactancia	La leche de vacas tratadas puede contener residuos del principio activo o de sus metabolitos cuando se ordeña antes de finalizar el tiempo de retiro.	Superación del LMR, exposición del consumidor y rechazo de la leche.	Separar y descartar la leche de las vacas tratadas; registrar el medicamento, dosis, vía, fecha de aplicación y tiempo de retiro.
Terapia de secado	Los antimicrobianos intramamarios de acción prolongada pueden persistir hasta el inicio de la siguiente lactancia cuando el periodo seco es más corto de lo previsto.	Presencia de residuos en el calostro o en la leche posterior al parto.	Registrar la fecha de secado, producto aplicado, periodo mínimo de retiro y fecha del parto; verificar la leche antes de incorporarla al tanque.
Ordeño de vacas tratadas	Los errores en la identificación de los animales pueden ocasionar que la leche no apta sea mezclada accidentalmente con la producción general.	Contaminación del tanque completo y pérdida de leche que inicialmente era apta.	Identificar visiblemente a las vacas tratadas, ordeñarlas por separado y capacitar al personal responsable.
Tanque de almacenamiento de la finca	La incorporación de una pequeña cantidad de leche con residuos puede afectar el volumen total almacenado.	Rechazo del tanque, pérdida económica y ruptura de la trazabilidad.	Aplicar pruebas rápidas de tamizaje antes del despacho y mantener registros individuales de tratamientos.

Centro de acopio	La leche procedente de diferentes fincas puede mezclarse antes de detectar la presencia de residuos.	Rechazo del lote, dificultad para identificar la finca de origen y pérdidas para varios proveedores.	Realizar pruebas de inhibidores, conservar muestras por proveedor y aplicar sistemas de trazabilidad.
Planta procesadora	Los residuos pueden alterar la actividad de los cultivos iniciadores empleados en la elaboración de yogur, queso y otros productos fermentados.	Fallas en la fermentación, incumplimiento de los LMR y riesgo de sanciones o retiro del producto.	Implementar controles de recepción, pruebas de tamizaje y confirmación mediante LC-MS/MS cuando existan resultados sospechosos.
Falta de registros sanitarios	Se desconoce qué animales recibieron tratamiento, el producto utilizado o la fecha en que termina el tiempo de retiro.	Mayor probabilidad de mezclar leche no apta y dificultad para establecer responsabilidades.	Implementar registros obligatorios, protocolos escritos y supervisión veterinaria.
Comercialización informal de leche cruda	La ausencia de controles sistemáticos puede permitir la venta de leche que no ha sido evaluada para detectar residuos.	Exposición directa del consumidor y comercialización de leche que incumple los requisitos de inocuidad.	Fortalecer la vigilancia, las pruebas de residuos, la trazabilidad y la capacitación de productores y comerciantes.

Nota. LMR: límite máximo de residuos; LC-MS/MS: *liquid chromatography-tandem mass spectrometry* (cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem); UPLC-MS/MS: *ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry* (cromatografía líquida de ultra alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas en tándem). ***Fuente***. Elaboración propia con base en las fuentes revisadas (Rodríguez-Díaz et al., 2022), (Puga-Torres et al., 2025), (Costa et al., 2024), (Comision Europea, 2025b), (Zulu et al., 2025)(FAO, 2024), (National Dairy FARM Program, 2024), (Dai et al., 2025), (Fatima et al., 2026), (Guo et al., 2022), (Navrátilová et al., 2024b).

Mediante las fuentes revisadas se identificaron el tratamiento de la mastitis durante la lactancia como uno de los principales puntos críticos para la presencia de residuos antimicrobianos en leche. Según Costa et al. (2024), National Dairy FARM Program (2024) y Comisión Europea

(2025) señalaron que el riesgo se presenta al mezclar la leche de una vaca que se encuentra tratada se incorpora al tanque antes de finalizar el tiempo de retiro correspondiente. Para evitar esta situación se realiza la separación de la leche, la identificación visible de los animales tratados y el registro del medicamento, la dosis, la fecha de administración y el periodo de retiro (Comision Europea, 2025b; Costa et al., 2024; National Dairy FARM Program, 2024).

Para la terapia de secado, las fuentes indicaron que los productos intramamarios de acción prolongada pueden ocasionar residuos al comienzo de la lactancia cuando el parto ocurre antes de lo esperado, el periodo seco es insuficiente o no existen registros confiables. Por esta razón, los se recomienda mediante documentos técnicos registrar la fecha de secado, el producto administrado, el periodo mínimo establecido y la fecha del parto antes de incorporar la leche al tanque general (Comision Europea, 2025b; National Dairy FARM Program, 2024).

Según, Puga-Torres et al. (2025) evaluaron 406 muestras de leche cruda que se comercializaba informalmente en Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas. Los autores identificaron residuos de antibióticos en 26 muestras, equivalente a 6,4 %, y se determinó que 356 muestras, corresponden al 87,68 %, que incumplieron al menos uno de los parámetros de calidad considerados. Mediante estos datos se evidencio a nivel nacional sobre la presencia de residuos y la necesidad de fortalecer los controles en la comercialización informal de leche (Puga-Torres et al., 2025).

En los centros de acopio y plantas procesadoras, menciona, Costa et al. (2024), Zulu et al. (2025) y Rodríguez-Díaz et al. (2022) que se registraron como situaciones de riesgo al mezclar la leche que procede de diferentes fincas, la ausencia de trazabilidad y la incorporación accidental de leche de vacas tratadas. De ñla misma manera , obteniendo como consecuencia, el rechazo del lote, pérdidas económicas y las alteraciones en la elaboración de productos fermentados, debido a que determinados residuos donde pueden inhibir los cultivos bacterianos utilizados en la producción de queso y yogurth (Costa et al., 2024; Rodríguez-Díaz et al., 2022; Zulu et al., 2025).

Respecto a los métodos de control, Navrátilová et al. (2024) y Fatima et al. (2026) se describieron las pruebas rápidas como herramientas de tamizaje para separar las muestras negativas de aquellas que requieren confirmación. Además, Dai et al. (2025) recopilaron diferentes técnicas de preparación y detección, mientras que Guo et al. (2022) desarrollaron el método UPLC-

MS/MS para analizar 103 residuos de medicamentos veterinarios en leche y productos lácteos. En este último se presentó límites de cuantificación de 0,1 a 5 µg/kg, mediante recuperaciones superiores al 60 % casi para todos los compuestos y desviaciones estándar relativas inferiores al 20 % (Dai et al., 2025; Fatima et al., 2026; Guo et al., 2022; Navrátilová et al., 2024b)

10.5. Vías ambientales de diseminación del resistoma en sistemas lecheros

Se reviso la evidencia para responder al componente ambiental en el tercer objetivo específico, mediante las rutas en las cuales los antimicrobianos residuales, las bacterias resistentes y los genes de resistencia circulan en los sistemas lecheros. Estos estudios identificaron al estiércol, los purines, las aguas residuales, el suelo agrícola, las fuentes de agua, las camas y el contacto con de la misma manera, describieron las pruebas rápidas de flora y fauna como elementos involucrados en esta circulación. La Tabla 16 se sintetiza las principales vías de diseminación, su origen dentro de la finca, los elementos transportados y su implicación desde el enfoque One Health.

Tabla 16.

Vías de diseminación del resistoma en sistemas lecheros

Vía de diseminación	Fuente en la finca lechera	Elemento que se disemina	Implicación One Health
Estiércol	Heces y orina de bovinos tratados o portadores de bacterias resistentes	Antimicrobianos residuales, ARB, ARGs y MGE	Constituye un reservorio primario desde el cual la resistencia puede pasar al suelo, agua y otros organismos.
Purines y aguas residuales	Mezcla líquida de excretas, agua de lavado, restos de leche y materia orgánica	Residuos antimicrobianos, ARB y ARGs	Puede contaminar el suelo y las fuentes de agua mediante derrames, escorrentía, infiltración o reutilización para riego.
Almacenamiento y tratamiento de excretas	Estercoleros, fosas, lagunas, compostaje y fermentación anaerobia	ARB y ARGs que sobreviven a tratamientos incompletos	El tratamiento puede disminuir la abundancia de resistencia, pero no

			garantiza su eliminación completa.
Suelo agrícola	Aplicación de estiércol o purines como fertilizante	ARB, ARGs, plásmidos, integrones y otros MGE	Puede modificar la microbiota del suelo y favorecer la persistencia o transferencia horizontal de genes.
Agua superficial	Escorrentía desde corrales, potreros, estercoleros y terrenos fertilizados	Residuos antimicrobianos, ARB y ARGs	Facilita la dispersión hacia animales, cultivos, comunidades y ecosistemas ubicados fuera de la finca.
Agua subterránea	Lixiviación desde suelos fertilizados, fosas o instalaciones con almacenamiento deficiente	Residuos antimicrobianos, ARB y ARGs	Representa una ruta menos visible de exposición cuando el agua se destina al consumo, riego o bebida de animales.
Cama y material orgánico	Cama contaminada con heces, orina, leche y secreciones mamarias	*Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Streptococcus uberis* y otros patógenos resistentes	Favorece la exposición de la ubre, la mastitis ambiental y la circulación de microorganismos dentro del hato.
Fauna silvestre e insectos	Contacto con estiércol, alimento, residuos y agua contaminada	Bacterias resistentes transportadas en el organismo o mecánicamente	Puede ampliar la dispersión ecológica entre fincas y ambientes naturales.
Trabajadores de la finca	Contacto con animales, leche cruda, camas, estiércol y superficies contaminadas	Bacterias resistentes de importancia animal y humana	Constituye un puente de exposición entre los animales, el ambiente de trabajo, los hogares y la comunidad.

Fuente. ARB: *antibiotic-resistant bacteria* (bacterias resistentes a los antibióticos); ARGs: *antimicrobial resistance genes* (genes de resistencia antimicrobiana); MGE: *mobile genetic elements* (elementos genéticos móviles); HGT:

horizontal gene transfer (transferencia horizontal de genes); *One Health*: Una sola salud. Elaboración propia con base en las fuentes revisadas (Roy et al., 2024), (Cornell University, 2024), (Tomanić et al., 2022), (Veloo et al., 2025), (Liu et al., 2025), (Zalewska et al., 2024), (J. Kang et al., 2022), (Berglund et al., 2023), (Y. Zhang et al., 2025), (Wiesner-Friedman et al., 2023), (Itzhari & Ronen, 2023), (Meyer et al., 2024), (Wang et al., 2024).

Mediante los estudios revisados se identificaron al estiércol y los purines como las principales vías de entrada de resistencia antimicrobiana al ambiente de las fincas lecheras. Según Veloo et al. (2025), Liu et al. (2025), Zalewska et al. (2024) y Wang et al. (2024) señalaron que estos materiales pueden contener residuos de antimicrobianos, bacterias resistentes y genes de resistencia donde son eliminados por las heces y la orina de los bovinos. Entre los genes registrados se encontraron tetM y tetW, asociados con tetraciclinas; sul1 y sul2, relacionados con sulfonamidas; ermB, vinculado con macrólidos y lincosamidas; y diferentes genes bla, asociados con betalactámicos (Liu et al., 2025; Veloo et al., 2025; Wang et al., 2024; Zalewska et al., 2024).

Durante el almacenamiento, compostaje y tratamiento de las excretas modificando la cantidad y diversidad de los genes presentes, aunque no siempre consiguieron eliminarlos completamente. Además, Zalewska et al. (2024) registraron la permanencia de determinados ARGs después del almacenamiento y compostaje del estiércol bovino. Por ello, Wang et al. (2024) reportaron una reducción de la abundancia relativa de ARGs del 68,5 % en aguas residuales y del 62,1 % en estiércol. Del mismo modo, mediante la fermentación anaerobia se redujo un 29,3 % de los genes presentes en las aguas tratadas y el tratamiento a alta temperatura disminuyó un 33,6 % de los detectados en el estiércol (Wang et al., 2024; Zalewska et al., 2024).

Según, Kang et al. (2022), Liu et al. (2025) y Zhang et al. (2025) analizaron que la aplicación del estiércol como fertilizante se incorporó bacterias resistentes y genes de resistencia al suelo agrícola. Mediante uno de los estudios registró el incremento de 0,5 y 3,7 veces en la abundancia de ARGs y de 2,7 y 3,7 veces en el número de subtipos detectados. En otro experimento desarrollado durante 12 años, la incorporación de estiércol aumentó entre 14,1 % y 20 % la riqueza de ARGs en la capa superficial del suelo (J. Kang et al., 2022; Liu et al., 2025; Y. Zhang et al., 2025).

Las fuentes de agua también fueron identificadas como rutas de diseminación. Según, Berglund et al. (2023), Wiesner-Friedman et al. (2023), Itzhari et al. (2023) y Meyer et al. (2024)

describieron el transporte de residuos antimicrobianos, bacterias resistentes y ARGs mediante aguas residuales, escorrentía e infiltración. Además, Meyer et al. (2024) encontraron alguna evidencia de patógenos o genes de resistencia en aguas subterráneas en dos de los tres estudios realizados en sistemas bovinos. En uno de esos trabajos, el 25 % de los aislamientos de *Escherichia coli* recuperados de dos pozos presentó resistencia a ceftriaxona y tetraciclina, además de sensibilidad intermedia al cloranfenicol (Berglund et al., 2023; Itzhari & Ronen, 2023; Meyer et al., 2024; Wiesner-Friedman et al., 2023)

Según, Cornell University (2024) y Tomanić et al. (2022) identificaron las camas, el estiércol y el agua como fuentes de exposición a patógenos ambientales de mastitis, principalmente *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp. y *Streptococcus uberis*. La permanencia de estos microorganismos en el material orgánico favoreció su contacto con la glándula mamaria y su circulación dentro del rebaño Environmental Bovine Mastitis Pathogens: Prevalence, Antimicrobial Susceptibility, and Sensitivity to Thymus vulgaris L., Thymus serpyllum L., and Origanum vulgare L. Essential Oils (Cornell University, 2024; Tomanić et al., 2022).

Según, Roy et al. (2024) analizaron la presencia de *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina en los animales y el ambiente de explotaciones lecheras. Los trabajadores, la fauna silvestre y los insectos fueron conocidos como posibles transportadores de bacterias resistentes cuando entraron en contacto con los animales, la leche, el estiércol, las camas o el agua contaminada. Esta interacción conformó una conexión entre las fuentes animales, ambientales y humanas consideradas dentro del enfoque One Health (Roy et al., 2024; Veloo et al., 2025; Wiesner-Friedman et al., 2023).

10.6. Intervenciones de stewardship aplicables a mastitis y terapia de secado

Para completar el cumplimiento del tercer objetivo específico, se describió las principales vías de diseminación ambiental del resistoma y se resumió las intervenciones de *stewardship* que se aplicaron a la mastitis y la terapia de secado, donde se identificaron las estrategias destinadas a mejorar el uso de antimicrobianos en las fincas lecheras. Por ende, la evidencia incluyó herramientas diagnósticas, protocolos veterinarios, registros sanitarios, terapia de secado selectiva, selladores internos de pezón y medidas preventivas dirigidas a disminuir la aparición de mastitis y la necesidad de tratamientos. Por ello, se consideraron intervenciones para reducir la liberación de

bacterias resistentes y genes de resistencia mediante el manejo adecuado de los residuos pecuarios. En la Tabla 17se presentan las principales intervenciones, su aplicación práctica y su relación con los componentes analizados en la revisión.

Tabla 17.

Intervenciones de stewardship aplicables a mastitis y terapia de secado

Intervención	Aplicación práctica	Efecto esperado	Relación con los objetivos de la revisión
Cultivo bacteriológico de mastitis	Obtener una muestra aséptica de leche para identificar el agente causal antes de seleccionar el tratamiento.	Evita administrar antimicrobianos en muestras sin crecimiento o en casos que no se beneficiarían del tratamiento.	Orienta el uso terapéutico según el diagnóstico microbiológico.
Pruebas rápidas y cultivo en finca	Diferenciar en aproximadamente 18 a 24 horas casos grampositivos, gramnegativos o sin crecimiento.	Disminuye el tratamiento empírico en casos leves y moderados.	Fortalece la toma de decisiones terapéuticas dirigidas.
Prueba de sensibilidad antimicrobiana	Evaluar la susceptibilidad del aislamiento frente a diferentes principios activos mediante un antibiograma.	Facilita la selección del antimicrobiano con mayor probabilidad de eficacia.	Relaciona el tratamiento con los patrones de resistencia identificados.
Protocolos de tratamiento	Establecer medicamento, dosis, vía, frecuencia, duración, criterios de seguimiento y tiempo de retiro.	Estandariza el tratamiento y disminuye errores, cambios injustificados y prolongaciones innecesarias.	Reduce la presión selectiva y el riesgo de residuos en leche.

Registro de tratamientos	Documentar vaca, cuarto afectado, diagnóstico, producto, dosis, fechas de administración y finalización del retiro.	Mejora la trazabilidad, permite cuantificar el consumo y evita la incorporación de leche no apta.	Relaciona el uso de antimicrobianos con la inocuidad de la leche.
Terapia de secado selectiva	Administrar antimicrobianos únicamente a vacas o cuartos con infección o riesgo elevado, según CCS, cultivo e historial clínico.	Reduce el número de vacas tratadas y el uso profiláctico generalizado.	Responde al contraste entre terapia de secado en manto y tratamiento dirigido.
Sellador interno de pezón	Aplicar una formulación no antimicrobiana, generalmente de subnitrato de bismuto, mediante una técnica aséptica.	Forma una barrera física contra nuevas infecciones durante el periodo seco.	Constituye una alternativa preventiva sin presión antimicrobiana directa.
Vigilancia mediante CCS	Utilizar el conteo individual y del tanque junto con los antecedentes de mastitis para seleccionar animales y evaluar resultados.	Permite identificar probables infecciones intramamarias y vigilar la salud mamaria.	Apoya la terapia de secado selectiva y el seguimiento posterior.
Higiene y bioseguridad	Aplicar presellado y posellado, usar guantes, mantener camas secas, separar vacas infectadas y conservar los equipos de ordeño.	Disminuye la transmisión de patógenos y la incidencia de mastitis.	Reduce la necesidad posterior de tratamientos antimicrobianos.
Vacunación contra mastitis	Aplicar programas dirigidos principalmente contra coliformes, *Staphylococcus*	Puede disminuir la incidencia, gravedad, recurrencia o mortalidad, según la vacuna y las condiciones del hato.	Complementa las medidas preventivas no antimicrobianas.

	aureus u otros patógenos específicos.		
Manejo de estiércol y aguas residuales	Aplicar compostaje, fermentación, biodigestión o almacenamiento controlado antes de utilizar las excretas como fertilizante.	Disminuye la carga de bacterias resistentes y ARGs liberados al ambiente.	Responde a la diseminación ambiental del resistoma.
Capacitación y asesoría veterinaria	Formar al personal en diagnóstico, aplicación de medicamentos, ordeño, registros, tiempos de retiro y manejo de residuos.	Mejora el cumplimiento de los protocolos y disminuye errores de tratamiento.	Integra salud animal, inocuidad alimentaria y protección ambiental.

Nota. AMS: *antimicrobial stewardship* (gestión responsable del uso de antimicrobianos); AST: *antimicrobial susceptibility testing* (prueba de sensibilidad a los antimicrobianos); OFC: *on-farm culture* (cultivo realizado en la finca); SDCT: *selective dry cow therapy* (terapia de secado selectiva); ITS: *internal teat sealants* (selladores internos de pezón); CCS: conteo de células somáticas; ARGs: *antimicrobial resistance genes* (genes de resistencia antimicrobiana); DDDvet: *defined daily dose for animals* (dosis diaria definida veterinaria); DCDvet: *defined course dose for animals* (dosis de curso definida veterinaria). ***Fuente.*** Elaboración propia con base en las fuentes revisadas (Abdelfattah et al., 2022; AHDB, 2024; Contiero et al., 2025; Creytens et al., 2026; Dairy Farmers of Canada, 2024a; Dziuba et al., 2023; Fernandes et al., 2021; Firth et al., 2022; Garcia et al., 2026; Garzon et al., 2024; Jacobsen et al., 2025; Jiang et al., 2025; Kabera et al., 2021; Leite de Campos et al., 2024; Lipkens et al., 2023; Martin et al., 2024; Mata et al., 2023b; Müller et al., 2023; National Dairy FARM Program, 2024; Paiva et al., 2024a; Pearce et al., 2023; Potter et al., 2023b; Rajala-Schultz et al., 2021; Rico et al., 2024; Ruegg, 2022; Ruma, 2022; Sievers et al., 2025; Skjølstrup et al., 2021; Timonen et al., 2022; University Minesota, 2021; Universityof Minnesota Extension, 2024; Ut et al., 2025a; Wang et al., 2024; Werner et al., 2023; Zalewska et al., 2024).

Según, Ruegg et al. (2022), Rajala-Schultz et al. (2021), Timonen et al. (2022), Rico et al. (2024) y Souza et al. (2024) describieron el cultivo bacteriológico, la evaluación de la gravedad y las pruebas de sensibilidad como una herramienta para orientar el tratamiento de la mastitis. Donde, las fuentes indicaron que hasta un 40 % de las muestras de mastitis puede no tener crecimiento bacteriano. También, se registró el cultivo realizado en la finca que puede proporcionar una clasificación inicial entre 18 y 24 horas, permitiendo decidir si un caso leve o

moderado requiere antimicrobianos (Rajala-Schultz et al., 2021; Rico et al., 2024; Ruegg, 2022; Timonen et al., 2022).

Mediante el uso de las pruebas rápida se relacionó con una disminución de los tratamientos empíricos. Según, Figueiredo et al. (2025) informaron que la aplicación de un sistema rápido basado en endotoxinas ayuda a orientar el tratamiento inicial que produjo una reducción del 86 % en el número de dosis antimicrobianas administradas. Por ende, Jong et al. (2024), Creytens et al. (2026) y Rico et al. (2024) describieron que la adopción de estas estrategias dependió de la disponibilidad de pruebas, la capacitación del personal y la participación del médico veterinario (Creytens et al., 2026; Jacobsen et al., 2025; Rico et al., 2024).

Los siguientes autores, Paiva et al. (2024), Kabera et al. (2021), Potter et al. (2023), Lipkens et al. (2023), Contiero et al. (2025) y Ut et al. (2025) evaluaron la terapia de secado selectiva como alternativa a la aplicación generalizada de antimicrobianos. Estas fuentes reportaron reducciones aproximadas de entre 40 % y 50 % en el uso de antibióticos durante el secado cuando la selección se apoyó en el CCS, cultivos, registros de mastitis e historial productivo. Además, Paiva et al. evaluaron 1.360 vacas y registraron que dos algoritmos selectivos disminuyeron la proporción de animales tratados al 51,3 % y 24,7 %, respectivamente, frente al tratamiento del 100 % de ejemplares mediante la terapia en manto (Contiero et al., 2025; Kabera et al., 2021; Lipkens et al., 2023; Paiva et al., 2024a; Potter et al., 2023b; Universityof Minnesota Extension, 2024; Ut et al., 2025a).

Por otro lado, Pearce et al. (2023), Kabera et al. (2021) y Müller et al. (2023) incluyeron que los selladores internos de pezón contienen una de las estrategias no antimicrobianas aplicables durante el secado. Los productos, generalmente elaborados con subnitrato de bismuto, que formaron una barrera física frente a nuevas infecciones intramamarias. Las fuentes señalaron que pueden utilizarse solos en vacas que no dispongan de infección o después del antimicrobiano en animales infectados, siempre que se mantenga una técnica de aplicación aséptica (Kabera et al., 2021; Müller et al., 2023; Pearce et al., 2023)

Asimismo, Martin et al. (2024), Skjølstrup et al. (2021), Abdelfattah et al. (2022) y Creytens et al. (2026) reportaron la importancia de llevar registros, una asesoría veterinaria y la capacitación del personal. Estos datos fueron recomendados para llevar la identificación de las

vacas y del cuarto mamario, el diagnóstico, el medicamento, la dosis, la vía, la duración y la fecha de reincorporación de la leche al tanque. Mediante estos registros permitieron calcular métricas como DDDvet y DCDvet, reconocer tratamientos repetidos y comprobar el cumplimiento de los tiempos de retiro (Abdelfattah et al., 2022; Creytens et al., 2026; Martin et al., 2024; Skjølstrup et al., 2021).

Además, Mata et al. (2023), Ryman et al. (2022) y Jiang et al. (2025) lograron incorporar la vacuna y otras alternativas no antibióticas dentro del control preventivo de la mastitis. Donde, mediante ensayos recopilados registró una reducción del 42 % en los casos clínicos de mastitis por coliformes, un 67 % en los episodios repetidos y del 61 % en la mortalidad de las vacas vacunadas. Las fuentes también incluyeron la higiene del ordeño, el mantenimiento de camas secas, el control de los equipos y la separación de animales infectados como medidas complementarias (Jiang et al., 2025; Mata et al., 2023b; Wang et al., 2024).

Finalmente, Zalewska et al. (2024) y Wang et al. (2024) los que evaluaron el tratamiento de los residuos generados en las explotaciones lecheras, mediante, almacenamiento, compostaje, fermentación y otros procedimientos que redujeron parte de las bacterias resistentes y los ARGs presentes en el estiércol y las aguas residuales, aunque no garantizaron su eliminación completa. Estas intervenciones fueron registradas como parte del componente ambiental de la gestión responsable de antimicrobianos (Wang et al., 2024; Zalewska et al., 2024).

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1. Conclusiones

La revisión permitió caracterizar que la mastitis clínica y la terapia de secado constituyen los principales escenarios de uso de antimicrobianos en bovinos lecheros. En la mastitis clínica predominó la indicación terapéutica mediante productos intramamarios, sistémicos o combinados, especialmente betalactámicos y cefalosporinas; mientras que la terapia de secado en manto representó el principal uso profiláctico al tratar a todas las vacas sin considerar su condición infecciosa individual. En contraste, el diagnóstico microbiológico, el conteo de células somáticas, los antecedentes sanitarios y la terapia de secado selectiva permitieron dirigir los tratamientos hacia los animales con infección o mayor riesgo.

La evidencia sintetizada mostró una asociación entre la exposición terapéutica o preventiva a antimicrobianos y la presencia de resistencia en patógenos de mastitis, bacterias indicadoras y microorganismos de la leche. Se identificaron fenotipos de resistencia a betalactámicos, tetraciclinas, macrólidos, lincosamidas, sulfonamidas, aminoglucósidos, fluoroquinolonas y glucopéptidos, junto con genes como blaZ, mecA, mecC, blaTEM, blaSHV, blaCTX-M, tetK, tetM, ermB, ermC, sul1, sul2, qnrA, qnrB, qnrS, vanA y vanB. La intensidad, frecuencia y amplitud del tratamiento, especialmente cuando se aplica sin diagnóstico o de forma generalizada, incrementan la presión de selección; además, el incumplimiento de los tiempos de retiro favorece la presencia de residuos antimicrobianos en la leche.

Las principales vías ambientales de diseminación del resistoma en los sistemas lecheros fueron el estiércol, los purines, las aguas residuales, el suelo agrícola y las aguas superficiales y subterráneas. Estos componentes pueden transportar residuos antimicrobianos, bacterias resistentes y genes de resistencia desde los animales tratados hacia otros organismos y ambientes. Las intervenciones de *stewardship* identificadas incluyeron el cultivo bacteriológico, las pruebas rápidas en finca, los protocolos veterinarios, los registros sanitarios, la terapia de secado selectiva, los selladores internos de pezón, la higiene del ordeño, la bioseguridad y el tratamiento de las excretas, cuya aplicación conjunta permite reducir el uso innecesario de antimicrobianos y limitar la circulación de resistencia desde el enfoque One Health.

11.2. Recomendaciones

Implementar protocolos diferenciados para mastitis clínica, mastitis subclínica y terapia de secado, sustentados en la valoración de la gravedad, el cultivo bacteriológico, la prueba de sensibilidad, el conteo de células somáticas y los antecedentes sanitarios de cada vaca. También se recomienda sustituir progresivamente la terapia de secado en manto por estrategias selectivas en los hatos que cuenten con registros confiables, condiciones adecuadas de higiene y seguimiento veterinario.

Fortalecer la vigilancia del uso y la resistencia antimicrobiana mediante registros individuales que incluyan el diagnóstico, principio activo, dosis, vía, duración y tiempo de retiro. Estos registros deben complementarse con el monitoreo de patógenos de mastitis, bacterias indicadoras, fenotipos y genes de resistencia, así como con pruebas de residuos antes de incorporar

la leche al tanque, con el propósito de reducir tratamientos empíricos y proteger la inocuidad de la cadena láctea.

Adoptar un programa integral de *stewardship* bajo el enfoque One Health que articule a productores, médicos veterinarios, centros de acopio y autoridades sanitarias. El programa debe incluir capacitación continua, higiene y bioseguridad, selladores internos de pezón, vacunación cuando corresponda, manejo técnico del estiércol y las aguas residuales, protección de las fuentes de agua y evaluación periódica de los resultados en salud mamaria, consumo de antimicrobianos, residuos en leche y presencia ambiental de genes de resistencia.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Pires AJ, Pereira G, Fangueiro D, Bexiga R, Oliveira M. When the solution becomes the problem: a review on antimicrobial resistance in dairy cattle. Future Microbiology. Taylor and Francis Ltd.; 2024. p. 903–29. doi:10.2217/fmb-2023-0232 PubMed PMID: 38661710.
2. OMS - Organización Mundial de la Salud. Una sola salud [Internet]. 2026 [cited 2026 Jun 14]. Available from: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/one-health
3. OMS - Organización Mundial de la Salud. Una sola salud [Internet]. 2026 [cited 2026 Jul 21]. Available from: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/one-health
4. OMS F. Plan de acción conjunto «Una sola salud» (2022-2026): trabajar juntos por la salud de los seres humanos, los animales, las plantas y el medio ambiente. [Internet]. 2022 [cited 2026 Jul 21]. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/9789240059139
5. Winkler AS, Brux CM, Carabin H, das Neves CG, Häsler B, Zinsstag J, et al. The Lancet One Health Commission: harnessing our interconnectedness for equitable, sustainable, and healthy socioecological systems. The Lancet. 2025 Aug 2;406(10502):501–70. doi:10.1016/S0140-6736(25)00627-0 PubMed PMID: 40683291.
6. Naghavi M, Vollset SE, Ikuta KS, Swetschinski LR, Gray AP, Wool EE, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance 1990–2021: a systematic analysis with forecasts to 2050. The Lancet. 2024 Sep 28;404(10459):1199–226. doi:10.1016/S0140-6736(24)01867-1 PubMed PMID: 39299261.
7. OMS. La lucha contra la resistencia a los antimicrobianos requiere un enfoque integral de salud. [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 21]. Available from: https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2024-9510-49282-73655
8. Roy MC, Chowdhury T, Hossain MT, Hasan MM, Zahran E, Rahman MM, et al. Zoonotic linkage and environmental contamination of Methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) in dairy farms: A one health perspective. One Health. 2024 Jun 1;18. doi:10.1016/j.onehlt.2024.100680
9. Puga-Torres B, Aragón E, Martínez EP, Buitrón F, Caizaluisa MJ, Gaibor E, et al. Quality and antibiotic residues in raw milk sold informally in Manabí and Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Ital J Food Saf. 2025 Jan 26;15(1):13885. doi:10.4081/IJFS.2026.13885

10. Collis RM, Biggs PJ, Burgess SA, Midwinter AC, Liu J, Brightwell G, et al. Assessing antimicrobial resistance in pasture-based dairy farms: a 15-month surveillance study in New Zealand. Appl Environ Microbiol. 2024 Nov 1;90(11). doi:10.1128/AEM.01390-24/FORMAT/EPUB PubMed PMID: 39440981.
11. Rodríguez-Díaz JM, Calahorrano-Moreno MB, Ordoñez-Bailon JJ, Baquerizo-Crespo RJ, Dueñas-Rivadeneira AA, Maria MC. Contaminants in the cow's milk we consume? Pasteurization and other technologies in the elimination of contaminants. F1000Res. 2022;11:91. doi:10.12688/F1000RESEARCH.108779.1 PubMed PMID: 35186276.
12. Gonçalves JL, de Campos JL, Steinberger AJ, Safdar N, Kates A, Sethi A, et al. Incidence and Treatments of Bovine Mastitis and Other Diseases on 37 Dairy Farms in Wisconsin. Pathogens. 2022 Nov 1;11(11). doi:10.3390/pathogens11111282
13. Farrell S, Benson T, McKernan C, Regan Á, Burrell AMG, Dean M. Factors influencing dairy farmers' antibiotic use: An application of the COM-B model. J Dairy Sci. 2023 Jun 1;106(6):4059–71. doi:10.3168/jds.2022-22263 PubMed PMID: 37028957.
14. Paiva D, Menta P, Bielamowicz LP, Machado VS. The effect of selective dry cow therapies based on 2 different algorithms on antimicrobial use, udder health, milk production, and culling in the absence of internal teat sealant use at dry-off. J Dairy Sci. 2024 Oct 1;107(10):8259–70. doi:10.3168/jds.2023-23981 PubMed PMID: 38754835.
15. de Jong E, McCubbin KD, Uyama T, Brummelhuis C, Bodaneze J, Kelton DF, et al. Adoption and decision factors regarding selective treatment of clinical mastitis on Canadian dairy farms. J Dairy Sci. 2024 Jan 1;107(1):476–88. doi:10.3168/jds.2023-23608 PubMed PMID: 37709015.
16. Xue MY, Xie YY, Zhong YF, Liu JX, Guan LL, Sun HZ. Ruminal resistome of dairy cattle is individualized and the resistotypes are associated with milking traits. Anim Microbiome. 2021 Dec 1;3(1):18. doi:10.1186/S42523-021-00081-9 PubMed PMID: 33568223.
17. Urrutia-Angulo L, Lavín JL, Oporto B, Aduriz G, Hurtado A, Ocejo M. Resistome and microbiome profiling of bovine milk following antimicrobial dry cow therapy: insights from short- and long-read metagenomic sequencing. Frontiers in Microbiomes. 2025;4:1672438. doi:10.3389/FRMBI.2025.1672438/FULL

18. Ruegg PL. Realities, Challenges and Benefits of Antimicrobial Stewardship in Dairy Practice in the United States. Microorganisms. MDPI; 2022. doi:10.3390/microorganisms10081626
19. Rajala-Schultz P, Nødtvedt A, Halasa T, Persson Waller K. Prudent Use of Antibiotics in Dairy Cows: The Nordic Approach to Udder Health. Front Vet Sci. 2021 Mar 5;8. doi:10.3389/fvets.2021.623998
20. Kerro Dego O, Vidlund J. Staphylococcal mastitis in dairy cows. Frontiers in Veterinary Science. Frontiers Media SA; 2024. doi:10.3389/fvets.2024.1356259
21. Okello E, ElAshmawy WR, Williams DR, Lehenbauer TW, Aly SS. Effect of dry cow therapy on antimicrobial resistance of mastitis pathogens post-calving. Front Vet Sci. 2023;10. doi:10.3389/fvets.2023.1132810
22. Kabera F, Roy JP, Afifi M, Godden S, Stryhn H, Sanchez J, et al. Comparing Blanket vs. Selective Dry Cow Treatment Approaches for Elimination and Prevention of Intramammary Infections During the Dry Period: A Systematic Review and Meta-Analysis. Frontiers in Veterinary Science. Frontiers Media S.A.; 2021. doi:10.3389/fvets.2021.688450
23. Pearce SD, Parmley EJ, Winder CB, Sargeant JM, Prashad M, Ringelberg M, et al. Evaluating the efficacy of internal teat sealants at dry-off for the prevention of new intra-mammary infections during the dry-period or clinical mastitis during early lactation in dairy cows: A systematic review update and sequential meta-analysis. Preventive Veterinary Medicine. Elsevier B.V.; 2023. doi:10.1016/j.prevetmed.2023.105841 PubMed PMID: 36657355.
24. Teagas. Predicción de la infección intramamaria en vacas en la última etapa de lactancia - Teagasc | Autoridad de Desarrollo Agrícola y Alimentario [Internet]. 2023 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://teagasc.ie/news--events/daily/predicting-intramammary-infection-in-late-lactation-cows
25. AHDB. Protocolo para el secado de vacas lecheras | AHDB [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://ahdb.org.uk/knowledge-library/protocol-for-drying-off-dairy-cows
26. Potter T, Forrestal A, Capel M, Nydam D. Putting research to the test: Implementing selective dry cow therapy on farms across New York State. American Association of Bovine

Practitioners Conference Proceedings. 2023 Jul 17;(55):64–73. doi:10.21423/aabppro20228605

27. Medicines Agency E. Principles on assignment of defined daily dose for animals (DDDvet) and defined course dose for animals (DCDvet) [Internet]. 2025. Available from: www.ema.europa.eu/contact
28. Medicines Agency E. Sales of veterinary antimicrobial agents in 31 European countries in 2022 - Trends from 2010 to 2022 - Thirteenth ESVAC report [Internet]. 2023. doi:10.2809/766171
29. Thompson JS, Green MJ, Hyde R, Bradley AJ, O'Grady L. The use of machine learning to predict somatic cell count status in dairy cows post-calving. Front Vet Sci. 2023;10. doi:10.3389/fvets.2023.1297750
30. Mahdy MAA, Mohamed WF. Comparative craniometric measurements of two Canid species in Egypt: the Egyptian red fox and the Egyptian Baladi dog. BMC Vet Res. 2022 Dec 1;18(1). doi:10.1186/s12917-022-03275-8 PubMed PMID: 35549953.
31. Timonen A, Sammul M, Taponen S, Kaart T, Mõtus K, Kalmus P. Antimicrobial Selection for the Treatment of Clinical Mastitis and the Efficacy of Penicillin Treatment Protocols in Large Estonian Dairy Herds. Antibiotics. 2022 Jan 1;11(1):44. doi:10.3390/ANTIBIOTICS11010044/S1
32. Carolina Pinzon. Un enfoque más inteligente para el tratamiento de la mastitis en las granjas lecheras modernas – Dairy [Internet]. 2025 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://dairy.extension.wisc.edu/articles/a-smarter-approach-to-mastitis-treatment-for-modern-dairy-farms/
33. MSD Veterinary Manual. Mastitis in Cattle - Reproductive System - MSD Veterinary Manual [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.msdvetmanual.com/reproductive-system/mastitis-in-large-animals/mastitis-in-cattle
34. Roșu RD, Morar A, Tîrziu E, Herman V, Ban-Cucerzan A, Popa SA, et al. Occurrence and Antimicrobial Susceptibility of Major Bacterial Pathogens Associated with Subclinical Mastitis in Dairy Cows in Western Romania. Microorganisms. 2026 Jan 1;14(1). doi:10.3390/microorganisms14010026

35. Müller S, Nitz J, Tellen A, Klocke D, Krömker V. Effect of Antibiotic Compared to Non-Antibiotic Dry Cow Treatment on the Bacteriological Cure of Intramammary Infections during the Dry Period—A Retrospective Cross-Sectional Study. Antibiotics. 2023 Mar 1;12(3). doi:10.3390/antibiotics12030429
36. Ban-Cucerzan A, Morar A, Tîrziu E, Bucur IM, Popa SA, Imre K. Bovine Mastitis Therapy at a Crossroads: Pharmacokinetic Barriers, Biofilms, Antimicrobial Resistance, and Emerging Solutions. Pharmaceuticals. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2026. doi:10.3390/ph19010175
37. Caio Figueiredo. Últimos avances en el manejo de la mastitis | Extensión de Medicina Veterinaria | Universidad Estatal de Washington [Internet]. 2025 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://vetextension.wsu.edu/2025/07/17/latest-developments-in-mastitis-management/
38. Rico A, Armstrong D, Brady N, León L, Hancock A, Lago A. Selective treatment of clinical mastitis: Assessment of the net cash impact on dairy farms under diverse scenarios—A European perspective. J Dairy Sci. 2024 Dec 1;107(12):10964–79. doi:10.3168/jds.2023-24341 PubMed PMID: 38908694.
39. Garcia BLN, Fidelis CE, da Silva Barbosa K, dos Santos MV. On-Farm Culture for Mastitis Treatment Decisions. Encyclopedia of Livestock Medicine for Large Animal and Poultry Production. 2026;1–5. doi:10.1007/978-3-031-52133-1_564-1
40. Obritzhauser W, Kuchling S, Alber O, Firth CL, Schleicher C, Fuchs K, et al. Dry-off treatment of dairy-cows : methods to guide targeted antimicrobial use to Relate on Farm Sustainability and Milk Analysis? ICAR Technical Series. 2020.
41. Martin H, Gribben L, Regan Á, Manzanilla EG, McAloon CG, Burrell AMG. Recording antimicrobial use on Irish dairy farms: Barriers and facilitators to using technology and sharing data. J Dairy Sci. 2024 Jul 1;107(7):5001–15. doi:10.3168/jds.2023-24308 PubMed PMID: 38395392.
42. Creytens L, Piepers S, Lipkens Z, De Vliegher S. Udder health management, bacteriological culturing, and antimicrobial use: Knowledge, implementation, attitude, and opinion among Flemish bovine dairy producers. J Dairy Sci. 2026 Feb 1;109(2):1500–17. doi:10.3168/jds.2025-26602 PubMed PMID: 41260474.

43. Fernandes L, Guimaraes I, Noyes NR, Caixeta LS, Machado VS. Effect of subclinical mastitis detected in the first month of lactation on somatic cell count linear scores, milk yield, fertility, and culling of dairy cows in certified organic herds. J Dairy Sci. 2021 Feb 1;104(2):2140–50. doi:10.3168/jds.2020-19153 PubMed PMID: 33309348.
44. Abdelfattah EM, Ekong PS, Okello E, Williams DR, Karle BM, Lehenbauer TW, et al. Factors Associated with Antimicrobial Stewardship Practices on California Dairies: One Year Post Senate Bill 27. Antibiotics. 2022 Feb 1;11(2). doi:10.3390/antibiotics11020165
45. Skjølstrup NK, Nielsen LR, Jensen CS, Lastein DB. Veterinary Herd Health Consultancy and Antimicrobial Use in Dairy Herds. Front Vet Sci. 2021 Feb 2;7:547975. doi:10.3389/FVETS.2020.547975 PubMed PMID: 33604361.
46. Nemati G, Romanó A, Wahl F, Berger T, Rojo LV, Graber HU. Bovine Staphylococcus aureus: a European study of contagiousness and antimicrobial resistance. Front Vet Sci. 2023;10. doi:10.3389/fvets.2023.1154550
47. Huang L, Islam Aqib A, Gu X, Huang C, Qu W, Copyright fvets, et al. The prevalence of bovine mastitis-associated Staphylococcus aureus in China and its antimicrobial resistance rate: A meta-analysis [Internet]. 2024. Available from: https://www.cnki.net/
48. Wataradee S, Samngamnim S, Boonserm T, Ajariyakhajorn K. Genotypic and antimicrobial susceptibility of Streptococcus agalactiae causing bovine mastitis in the central region of Thailand. Front Vet Sci. 2023;10. doi:10.3389/fvets.2023.1250436
49. Fenta MD, Getahun Feleke M, Mebratu AS, Mengistu BA, Demessie Y. Streptococcal infection and its antimicrobial resistance profile associated with bovine mastitis in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis. Frontiers in Veterinary Science. Frontiers Media SA; 2025. doi:10.3389/fvets.2025.1503904
50. Gelgie AE, Desai SE, Gelalcha BD, Kerro Dego O. Mycoplasma bovis mastitis in dairy cattle. Frontiers in Veterinary Science. Frontiers Media SA; 2024. doi:10.3389/fvets.2024.1322267
51. Andrew S. Resistencia a la mastitis para mejorar la seguridad alimentaria de los productos lácteos | Biblioteca Nacional de Agricultura [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.nal.usda.gov/research-tools/food-safety-research-projects/mastitis-resistance-enhance-dairy-food-safety-0

52. Christina S. Petersson-Wolfe AP& EDSS of ASVTTS former PhDSDSVT and SUSAPVMC of VM. Corynebacterium bovis: A Practical Summary for Controlling Mastitis | VCE Publications | Virginia Tech [Internet]. 2026 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.pubs.ext.vt.edu/DASC/DASC-64/DASC-64.html
53. Kang HJ, You JY, Hong S, Moon JS, Kim HY, Choi JH, et al. Prevalence of pathogens and antimicrobial resistance of isolated Staphylococcus spp. in bovine mastitis milk in South Korea, 2018–2022. J Vet Med Sci. 2024;86(12):1219. doi:10.1292/JVMS.24-0239 PubMed PMID: 39401888.
54. Chris Compton. Salmonella study [Internet]. 2021 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://sites.massey.ac.nz/salmonella/
55. Cornell University. Environmental Mastitis | Cornell University College of Veterinary Medicine [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.vet.cornell.edu/animal-health-diagnostic-center/testing/testing-protocols-interpretations/environmental-mastitis
56. Xu T, Cao W, Huang Y, Zhao J, Wu X, Yang Z. The Prevalence of Escherichia coli Derived from Bovine Clinical Mastitis and Distribution of Resistance to Antimicrobials in Part of Jiangsu Province, China. Agriculture (Switzerland). 2023 Jan 1;13(1). doi:10.3390/agriculture13010090
57. Gelalcha BD, Gelgie AE, Kerro Dego O. Prevalence and antimicrobial resistance profiles of extended-spectrum beta-lactamase-producing Escherichia coli in East Tennessee dairy farms. Front Vet Sci. 2023;10:1260433. doi:10.3389/FVETS.2023.1260433/FULL
58. Hillebrand J, Oltmanns H, Meißner J. In vitro efficacy of four potential antimicrobial substances against Klebsiella species and Streptococcus uberis isolated from bovine mastitis. Front Vet Sci. 2026;13. doi:10.3389/fvets.2026.1782821
59. Nitz J, Wente N, Zhang Y, Klocke D, Seeth MT, Krömker V. Dry period or early lactation—time of onset and associated risk factors for intramammary infections in dairy cows. Pathogens. 2021 Feb 1;10(2):1–20. doi:10.3390/pathogens10020224
60. Pirner LH, Petzl W, Gangl A, Huber-Schlenstedt R, Sorge US. In vitro antimicrobial resistance of Escherichia coli, Serratia marcescens, Klebsiella oxytoca, and Klebsiella pneumoniae on Bavarian dairy farms between 2014 and 2022. J Dairy Sci. 2024 Oct 1;107(10):8402–12. doi:10.3168/jds.2023-24536 PubMed PMID: 38825127.

61. Tomanić D, Božin B, Kladar N, Stanojević J, Čabarkapa I, Stilinović N, et al. Environmental Bovine Mastitis Pathogens: Prevalence, Antimicrobial Susceptibility, and Sensitivity to Thymus vulgaris L., Thymus serpyllum L., and Origanum vulgare L. Essential Oils. Antibiotics. 2022 Aug 1;11(8):1077. doi:10.3390/ANTIBIOTICS11081077 PubMed PMID: 36009946.

62. ECDC - European Centre for Disease Prevention and Control. The European Union Summary Report on Antimicrobial Resistance in zoonotic and indicator bacteria from humans, animals and food in 2023–2024 [Internet]. 2026 Feb 18 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/european-union-summary-report-antimicrobial-resistance-zoonotic-and-indicator-10

63. Kerluku M, Ratkova Manovska M, Prodanov M, Stojanovska-Dimzoska B, Hajrulai-Musliu Z, Jankuloski D, et al. Phenotypic and Genotypic Analysis of Antimicrobial Resistance of Commensal Escherichia coli from Dairy Cows' Feces. Processes. 2023 Jul 1;11(7). doi:10.3390/pr11071929

64. Garzon A, Portillo R, Habing G, Silva-del-Rio N, Karle BM, Pereira R V. Antimicrobial resistance of Escherichia coli from dairy farms participating in an antimicrobial stewardship educational program for farm employees. J Dairy Sci. 2024 Mar 1;107(3):1645–55. doi:10.3168/jds.2023-23574 PubMed PMID: 37806634.

65. Morandi S, Silvetti T, Lopreiato V, Piccioli-Cappelli F, Trevisi E, Brasca M. Biodiversity and antibiotic resistance profile provide new evidence for a different origin of enterococci in bovine raw milk and feces. Food Microbiol. 2024 Jun 1;120. doi:10.1016/j.fm.2024.104492 PubMed PMID: 38431334.

66. Ibrahim ES, Dorgham SM, Mansour AS, Abdalhamed AM, Khalaf DD. Genotypic characterization of mecA gene and antibiogram profile of coagulase-negative staphylococci in subclinical mastitic cows. Vet World. 2022 Sep 1;15(9):2186. doi:10.14202/VETWORLD.2022.2186-2191 PubMed PMID: 36341061.

67. Sweeney MT, Gunnett L, Kumar DM, Lunt BL, Moulin V, Barrett M, et al. Antimicrobial susceptibility of mastitis pathogens isolated from North American dairy cattle, 2011-2022. Vet Microbiol. 2024 Apr 1;291. doi:10.1016/j.vetmic.2024.110015 PubMed PMID: 38340554.

68. Flores B, Mendoza M, Cárdenas R, Cruz A, Mora-Sánchez B, Sheleby-Elías J. Detection of Genes Responsible for Antimicrobial Resistance in Bacteria Isolated from Bovine Mastitis Milk. Veterinarija ir Zootechnika. 2023.
69. Khasapane NG, Lekota K, Lehlohonolo M, Nkhebenyane J, Thekisoe O, Ramatla T. Antimicrobial resistance and virulence gene profiles of Enterococcus faecalis and Enterococcus faecium isolated from subclinical bovine mastitis milk and cow dung. Sci Rep. 2026 Dec 1;16(1). doi:10.1038/s41598-025-32569-8 PubMed PMID: 41413635.
70. Sievers T, Blumenberg JA, Hölzel CS. Invited review: Antimicrobial resistance genes in milk—A 10-year systematic review and critical comment. J Dairy Sci. 2025 May 1;108(5):4508–43. doi:10.3168/JDS.2024-25528 PubMed PMID: 39647632.
71. Nikolajenko M, Kovalcuka L, Lusis I, Malniece A, Veksins A, Galina D, et al. Antimicrobial Resistance in Indicator Microorganisms Escherichia coli and Enterococcus spp. from Healthy Dairy Cattle in Latvia. Animals. 2026 Feb 1;16(4). doi:10.3390/ani16040597
72. Qi Y, Lu Z, Meng Z, Wang X, Chen H, Li M, et al. Diversity and antibiotic resistance of cultivable bacteria in bulk tank milk from dairy farms in Shandong Province, China. Front Vet Sci. 2025 Jul 23;12:1649876. doi:10.3389/FVETS.2025.1649876/TEXT
73. Fonseca M, Heider LC, Stryhn H, McClure JT, Léger D, Rizzo D, et al. Intramammary and systemic use of antimicrobials and their association with resistance in generic Escherichia coli recovered from fecal samples from Canadian dairy herds: A cross-sectional study. Prev Vet Med. 2023 Jul 1;216:105948. doi:10.1016/J.PREVETMED.2023.105948 PubMed PMID: 37263090.
74. Werner T, Käsbohrer A, Wasner B, Köberl-Jelovcan S, Vetter SG, Egger-Danner C, et al. Antimicrobial resistance and its relationship with antimicrobial use on Austrian dairy farms. Front Vet Sci. 2023;10. doi:10.3389/fvets.2023.1225826
75. Dairy Farmers of Canada. Antimicrobial stewardship and its impact on antimicrobial use, antimicrobial resistance, and animal health on dairy farms | Dairy Research [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://dairyfarmersofcanada.ca/en/dairy-research/research-projects/antimicrobial-stewardship-and-its-impact-antimicrobial-use-antimicrobial-resistance-and-animal-health-dairy-farms

76. Kazemzadeh S, Korneeva O, Shabunin S, Syromyatnikov M. Antibiotic resistance in mastitis-causing bacteria: Exploring antibiotic-resistance genes, underlying mechanisms, and their implications for dairy animal and public health. Open Vet J. 2025;15(9):3980. doi:10.5455/OVJ.2025.V15.I9.5 PubMed PMID: 41200317.

77. Achivie Better Milk Together. Enfoques de terapia antimicrobiana para la mastitis en vacas lecheras: Logremos una mejor producción de leche juntos. [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.achievebettermilktogether.com/en/evidence-based-mastitis-therapy/cow-mastitis-antimicrobial-therapy

78. Askari S, Zomorodi AR, Aflakian F. Alternative treatment candidates to antibiotic therapy for bovine mastitis in the post-antibiotic era: a comprehensive review. Microb Pathog. 2025 Aug 1;205:107684. doi:10.1016/J.MICPATH.2025.107684 PubMed PMID: 40348206.

79. Innovative Farmers. Reducción del uso de antibióticos mediante el cultivo en la granja y el tratamiento selectivo de la mastitis clínica. [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.innovativefarmers.org/farmer-led-research/reducing-antibiotic-use-through-on-farm-culture-selective-treatment-of-clinical-mastitis/

80. Ghumman NZ, Bruce M, Barbosa AD, Ijaz M, Peng J, Gogoi-Tiwari J. Bovine mastitis and antimicrobial resistance in Pakistan's dairy sector: current status and future prospects. Veterinary Research Communications. Springer Science and Business Media B.V.; 2026. doi:10.1007/s11259-025-10951-1 PubMed PMID: 41219618.

81. Jiang L, Li Q, Liao H, Liu H, Wang Z. Enhancing Agricultural Productivity in Dairy Cow Mastitis Management: Innovations in Non-Antibiotic Treatment Technologies. Vet Sci. 2025 Jul 1;12(7):662. doi:10.3390/VETSCI12070662 PubMed PMID: 40711322.

82. Li X, Xu C, Liang B, Kastelic JP, Han B, Tong X, et al. Alternatives to antibiotics for treatment of mastitis in dairy cows. Front Vet Sci. 2023 Jun 19;10:1160350. doi:10.3389/FVETS.2023.1160350/FULL

83. Contiero B, Cozzi G, Lora I, Gottardo F. Transition to selective dry cow therapy for responsible antimicrobial use in dairy cattle: a case study. animal. 2025 Jul 1;19(7):101567. doi:10.1016/J.ANIMAL.2025.101567 PubMed PMID: 40580841.

84. Dziuba M, Caixeta LS, Boyum B, Godden S, Royster E, Rowe S. Negatively controlled trial investigating the effects of dry cow therapy on clinical mastitis and culling in

multiparous cows. J Dairy Sci. 2023 Aug 1;106(8):5687–95. doi:10.3168/JDS.2022-22845 PubMed PMID: 37349210.

85. Firth CL, Käsbohrer A, Pless P, Koeberl-Jelovcan S, Obritzhauser W. Analysis of Antimicrobial Use and the Presence of Antimicrobial-Resistant Bacteria on Austrian Dairy Farms— A Pilot Study. Antibiotics. 2022 Feb 1;11(2). doi:10.3390/antibiotics11020124
86. Lipkens Z, Piepers S, De Vliegher S. Impact of Selective Dry Cow Therapy on Antimicrobial Consumption, Udder Health, Milk Yield, and Culling Hazard in Commercial Dairy Herds. Antibiotics. 2023 May 1;12(5). doi:10.3390/antibiotics12050901 PubMed PMID: 37237804.
87. University Minesota. MN Impact: Selective dry cow therapy program is a win-win-win for the dairy industry | Minnesota Agricultural Experiment Station [Internet]. 2021 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://maes.umn.edu/news/dry-cow-therapy
88. Leite de Campos J, Kates A, Steinberger A, Sethi A, Suen G, Shutske J, et al. Variation in partial direct costs of dry cow therapy on 37 large dairy herds [Internet]. 2024. Available from: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
89. Ut ID, Berean DI, Bogdan LM, Ciupe S, Gog Bogdan S. Selective Dry Cow Therapy in Modern Dairy Management: Balancing Udder Health and Antimicrobial Stewardship. Veterinary Sciences. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025. doi:10.3390/vetsci12060580
90. Barkema HW. Importance of selective antibiotic use: Drying off and clinical mastitis treatments. WCDS Advances in Dairy Technology. 2023.
91. FDA. Datos sobre el uso de antimicrobianos en animales | FDA [Internet]. 2025 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.fda.gov/animal-veterinary/antimicrobial-resistance/data-antimicrobial-use-animals
92. Tree M, Lam TJGM, Townsend K, McDougall S, Beggs DS, Barnes AL, et al. A scoping review of antimicrobial resistance in the Australian dairy cattle industry. Preventive Veterinary Medicine. Elsevier B.V.; 2024. doi:10.1016/j.prevetmed.2024.106161 PubMed PMID: 38460345.
93. Jacobsen ABJE, Ogden J, Ekiri AB. Interventions for reducing antimicrobial resistance in livestock in sub Saharan Africa: systematic review. Front Vet Sci. 2025 Dec 17;12:1702427. doi:10.3389/FVETS.2025.1702427/TEXT

94. Neculai-Valeanu AS, Ariton AM, Radu C, Porosnicu I, Sanduleanu C, Amariții G. From Herd Health to Public Health: Digital Tools for Combating Antibiotic Resistance in Dairy Farms. Antibiotics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. doi:10.3390/antibiotics13070634
95. Costa LV, Gebara C, Zacaroni O de F, Freitas NE, Silva AN da, Prado CS, et al. Antibiotic Residues in Raw Cow's Milk: A Systematic Review of the Last Decade. Foods. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. doi:10.3390/foods13233758
96. Zulu GE, Hang'ombe BM, Mainda G, Kayesa E, Makungu C, Chipembo AC, et al. Antibiotic Residues in Raw Cow Milk Collected from Smallholder Dairy Farms in Kasama and Mbala, Zambia. Antibiotics. 2025 Dec 1;14(12). doi:10.3390/antibiotics14121197
97. Comision Europea. Guidelines on EU requirements for entry of animals and products of animal origin Control plans for residues of veterinary medicines, pesticides and contaminants Directorate-General for Health and Food Safety. 2025.
98. Comision Europea. Residuos de medicamentos veterinarios - Seguridad alimentaria [Internet]. 2025 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://food.ec.europa.eu/food-safety/chemical-safety/residues-veterinary-medicinal-products_en
99. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. JECFA Toolbox for Veterinary Drug Residues Risk Assessment [Internet]. 2024 Sep. Available from: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd1625en doi:10.4060/cd1625en
100. FAO. Veterinary Drug Residues in Food: One hundred and first meeting - Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://www.who.int/news-room/articles-detail/veterinary-drug-residues-in-food-one-hundred-and-first-meeting-joint-fao-who-expert-committee-on-food-additives-%28jecfa%29
101. National Dairy FARM Program. DRUG RESIDUE PREVENTION REFERENCE MANUAL. 2024 Jun.
102. Ruma. Guidelines for Responsible use of antimicrobials in cattle production RESPONSIBLE USE OF ANTIMICROBIALS IN CATTLE PRODUCTION 2. 2022 Jul.
103. Dai Q, Tang S, Dai C. Recent Advances in Pretreatment Methods and Detection Techniques for Veterinary Drug Residues in Animal-Derived Foods. Metabolites. 2025 Apr 1;15(4):233. doi:10.3390/METABO15040233 PubMed PMID: 40278362.

104. College Park. El número de muestras de leche que dieron positivo por residuos de drogas disminuyó en el año fiscal 2024 - Cheese Reporter [Internet]. 2025 [cited 2026 Jul 22]. Available from: https://cheesereporter.com/news/2025/01/30/number-of-milk-samples-testing-positive-for-drug-residues-declined-in-fiscal-2024
105. Fatima N, Mahmood MS, Khan MK, Ali S. Enhancing Dairy Safety: A User-Friendly Rapid Kit for Sensitive Detection of Antibiotic Residues in Milk. Kafkas Univ Vet Fak Derg. 2026;32(1):57–67. doi:10.9775/kvfd.2025.34907
106. Zhang Q, Du H, Zhang Y. Recent progress on the detection of animal-derived food stimulants using mass spectrometry-based techniques. Front Nutr. 2023 Jul 18;10:1226530. doi:10.3389/FNUT.2023.1226530/TEXT
107. Zhang Q, Du H, Zhang Y. Recent progress on the detection of animal-derived food stimulants using mass spectrometry-based techniques. Front Nutr. 2023 Jul 18;10:1226530. doi:10.3389/FNUT.2023.1226530/TEXT
108. Guo X, Tian H, Yang F, Fan S, Zhang J, Ma J, et al. Rapid determination of 103 common veterinary drug residues in milk and dairy products by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. Front Nutr. 2022 Jul 22;9:879518. doi:10.3389/FNUT.2022.879518/TEXT
109. Navrátilová P, Vorlová L, Dluhošová S, Bartáková K, Hanuš O, Samková E. Screening Methods for Antimicrobial Residues in the Dairy Chain—The Past and the Present. Antibiotics. 2024 Nov 1;13(11):1098. doi:10.3390/ANTIBIOTICS13111098 PubMed PMID: 39596791.
110. Veloo Y, Thahir SSA, Zakaria Z, Rahman SA, Mansor R, Rajendiran S. A Scoping Review Unveiling Antimicrobial Resistance Patterns in the Environment of Dairy Farms Across Asia. Antibiotics. 2025 May 1;14(5):436. doi:10.3390/ANTIBIOTICS14050436/S1
111. Di Martino P. Antimicrobial agents and microbial ecology. AIMS Microbiol. 2022;8(1):1. doi:10.3934/MICROBIOL.2022001 PubMed PMID: 35496989.
112. Zhao Y, Niu Y, Zhao M, Huang W, Qin Y. Prevalence of antibiotic resistance genes its association with microbiota in raw milk of northwest Xinjiang. Front Microbiol. 2025;16:1595051. doi:10.3389/FMICB.2025.1595051/FULL
113. Liu B, Shen Z, Zhou Q, Ren J, Wang H, Zhang D, et al. Antibiotic resistance genes in the animal manure-amended soil-plant system: Occurrence, transmission, bacterial hosts, and

human health risks. Ecotoxicology and Environmental Safety. Academic Press; 2025. doi:10.1016/j.ecoenv.2025.118890 PubMed PMID: 40829275.

114. Zalewska M, Błażejewska A, Szadziul M, Ciuchciński K, Popowska M. Effect of composting and storage on the microbiome and resistome of cattle manure from a commercial dairy farm in Poland. Environ Sci Pollut Res Int. 2024 May 1;31(21):30819. doi:10.1007/S11356-024-33276-Z PubMed PMID: 38616224.
115. Kang J, Liu Y, Chen X, Xu F, Xiong W, Li X. Shifts of Antibiotic Resistomes in Soil Following Amendments of Antibiotics-Contained Dairy Manure. Int J Environ Res Public Health. 2022 Sep 1;19(17):10804. doi:10.3390/IJERPH191710804/S1 PubMed PMID: 36078515.
116. Berglund F, Ebmeyer S, Kristiansson E, Larsson DGJ. Evidence for wastewaters as environments where mobile antibiotic resistance genes emerge. Commun Biol. 2023 Dec 1;6(1). doi:10.1038/s42003-023-04676-7 PubMed PMID: 36966231.
117. Zhang Y, Ruan Y, Xu Q, Ling N, Shen Q. Manure application primarily drives changes in antibiotic resistome composition rather than abundance in agricultural soil profile. J Environ Manage. 2025 May 1;382:125421. doi:10.1016/J.JENVMAN.2025.125421 PubMed PMID: 40253993.
118. Wiesner-Friedman C, Beattie RE, Stewart JR, Hristova KR, Serre ML. Identifying sources of antibiotic resistance genes in the environment using the microbial Find, Inform, and Test framework. Front Microbiol. 2023 Sep 5;14:1223876. doi:10.3389/FMICB.2023.1223876/BIBTEX
119. Meyer C, Price S, Ercumen A. Do animal husbandry operations contaminate groundwater sources with antimicrobial resistance: systematic review. Environmental Science and Pollution Research. Springer; 2024. p. 16164–76. doi:10.1007/s11356-024-31899-w PubMed PMID: 38321277.
120. EPA. Patrones geoespaciales de genes de resistencia antimicrobiana en la Encuesta Nacional de Evaluación de Ríos y Arroyos de la EPA | Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 23]. Available from: https://www.epa.gov/sciencematters/geospatial-patterns-antimicrobial-resistance-genes-epa-national-rivers-and-streams

121. Itzhari D, Ronen Z. The Emergence of Antibiotics Resistance Genes, Bacteria, and Micropollutants in Grey Wastewater. Applied Sciences (Switzerland). MDPI; 2023. doi:10.3390/app13042322
122. Collis RM, Biggs PJ, Burgess SA, Midwinter AC, Liu J, Brightwell G, et al. Assessing antimicrobial resistance in pasture-based dairy farms: a 15-month surveillance study in New Zealand. Appl Environ Microbiol. 2024 Nov 1;90(11):e01390-24. doi:10.1128/AEM.01390-24 PubMed PMID: 39440981.
123. European Commission. On stepping up EU actions to combat antimicrobial resistance in a One Health approach [Internet]. 2023. doi:10.2875/636347
124. Dairy Farmers of Canada. The Canadian Dairy Network of. 2024.
125. NMPF. Uso responsable de antibióticos y tratamientos sanitarios para el ganado lechero | NMPF [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 23]. Available from: https://www.nmpf.org/issues/animal-health/antibiotic-stewardship/
126. International Dairy Federation. IDF_Animal_Health_Report_2024_06__eCat. 2024 Sep.
127. Penn State Extension. Cultura en la explotación: El enfoque inteligente para el tratamiento de la mastitis clínica. [Internet]. 2025 [cited 2026 Jul 23]. Available from: https://extension.psu.edu/on-farm-culture-the-smart-approach-to-clinical-mastitis-treatment
128. de Souza MMS, Dubenczuk FC, Melo DA, Holmström TCN, Mendes MB, Reinoso EB, et al. Antimicrobial therapy approaches in the mastitis control driven by one health insights. Brazilian Journal of Veterinary Medicine. 2024;46:e002624. doi:10.29374/2527-2179.BJVM002624 PubMed PMID: 39104804.
129. Caio Figueiredo. Latest developments in mastitis management | Veterinary Medicine Extension | Washington State University [Internet]. 2025 [cited 2026 Jul 23]. Available from: https://vetextension.wsu.edu/2025/07/17/latest-developments-in-mastitis-management/
130. Paiva D, Menta P, Bielamowicz LP, Machado VS. The effect of selective dry cow therapies based on 2 different algorithms on antimicrobial use, udder health, milk production, and culling in the absence of internal teat sealant use at dry-off. J Dairy Sci. 2024 Oct 1;107(10):8259–70. doi:10.3168/JDS.2023-23981 PubMed PMID: 38754835.

131. Universityof Minnesota Extension. Terapia selectiva para vacas secas | Extensión de la UMN [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 23]. Available from: https://extension.umn.edu/dairy-milking-cows/selective-dry-cow-therapy
132. Ut ID, Berean DI, Bogdan LM, Ciupe S, Gog Bogdan S. Selective Dry Cow Therapy in Modern Dairy Management: Balancing Udder Health and Antimicrobial Stewardship. Vet Sci. 2025 Jun 1;12(6):580. doi:10.3390/VETSCI12060580 PubMed PMID: 40559817.
133. Valery Ryman SN. Vaccination as a Tool to Control Mastitis in Dairy Cows. 2022.
134. Mata F, Jesus MS, Pinto RP, Mata A. A meta-analysis of the mastitis vaccination efficacy in dairy cattle. Open Vet J. 2023 Feb 1;13(2):179. doi:10.5455/OVJ.2023.V13.I2.5 PubMed PMID: 37073239.
135. Yu W, Zhang Z, Wang Z, Lin X, Dong X, Hou Q. Comprehensive Prevention and Control of Mastitis in Dairy Cows: From Etiology to Prevention. Veterinary Sciences. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025. doi:10.3390/vetsci12090800
136. Krishi Bhawan. Strategy Document on the Prevention and Control of Mastitis. 2025 Feb.
137. Roșu RD, Morar A, Tîrziu E, Herman V, Ban-Cucerzan A, Popa SA, et al. Occurrence and Antimicrobial Susceptibility of Major Bacterial Pathogens Associated with Subclinical Mastitis in Dairy Cows in Western Romania. Microorganisms. 2026 Jan 1;14(1). doi:10.3390/microorganisms14010026
138. Mata F, Jesus MS, Pinto RP, Mata A. A meta-analysis of the mastitis vaccination efficacy in dairy cattle. Open Vet J. 2023 Feb 1;13(2):179. doi:10.5455/OVJ.2023.V13.I2.5 PubMed PMID: 37073239.
139. Wang H, Gao Y, Zheng L, Ji L, Kong X, Du J, et al. Identification and Distribution of Antibiotic Resistance Genes and Antibiotic Resistance Bacteria in the Feces Treatment Process: A Case Study in a Dairy Farm, China. Water (Switzerland). 2024 Jun 1;16(11). doi:10.3390/w16111575
140. Tong X, Barkema HW, Nobrega DB, Xu C, Han B, Zhang C, et al. Virulence of Bacteria Causing Mastitis in Dairy Cows: A Literature Review. Microorganisms. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025. doi:10.3390/microorganisms13010167
141. Navrátilová P, Vorlová L, Dluhošová S, Bartáková K, Hanuš O, Samková E. Screening Methods for Antimicrobial Residues in the Dairy Chain—The Past and the Present.

Antibiotics. 2024 Nov 1;13(11):1098. doi:10.3390/ANTIBIOTICS13111098 PubMed PMID: 39596791.