



NEOSPOROSIS BOVINA

EPIDEMIOLOGÍA, IMPACTO PRODUCTIVO Y ESTRATEGIAS DE CONTROL EN SISTEMA LECHEROS EN ECUADOR



Alejandra Elizabeth Barrionuevo Mayorga
Jenny Marcela Martínez Moreira

ISBN: 978-9907-0-0550-9

2025

NEOSPOROSIS BOVINA: EPIDEMIOLOGÍA, IMPACTO PRODUCTIVO Y ESTRATEGIAS DE CONTROL EN SISTEMA LECHEROS EN ECUADOR

AUTORES:

**ALEJANDRA ELIZABETH BARRIONUEVO MAYORGA
JENNY MARCELA MARTÍNEZ MOREIRA**



Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR
Universidad Estatal de Bolívar
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupobl.com
<https://grupobl.com/libros-investig>
REPOSITORIO



Barrionuevo, A., Martínez, J. (2025) Neosporosis bovina: epidemiología, impacto productivo y estrategias de control en sistema lecheros en Ecuador. Grupo Editorial BLR.

© Alejandra Elizabeth Barrionuevo Mayorga
Jenny Marcela Martínez Moreira

ISBN: 978-9907-0-0550-9

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

FILIACIONES DE LOS AUTORES

Alejandra Elizabeth Barrionuevo Mayorga

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: abarrionuevo@ueb.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9126-9085>

Jenny Marcela Martínez Moreira

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: jmartinez@ueb.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2516-244X>



PRÓLOGO

La ganadería bovina, particularmente la producción lechera, constituye una de las principales actividades agropecuarias a nivel global, con un impacto significativo en la seguridad alimentaria, la economía rural y el comercio internacional de productos lácteos. Sin embargo, este sector se enfrenta a diversos retos sanitarios y productivos que limitan su sostenibilidad y competitividad. Entre ellos, las enfermedades reproductivas de origen infeccioso, como la neosporosis bovina, representan uno de los mayores desafíos para los médicos veterinarios, investigadores y productores, debido a su elevada prevalencia, su capacidad de transmisión vertical y horizontal, y las pérdidas económicas asociadas a abortos, reabsorciones embrionarias y reducción en parámetros productivos.

El presente libro surge como una respuesta a la necesidad de compilar, sistematizar y analizar información científica actualizada sobre *Neospora caninum*, un protozooario intracelular obligado de la familia Sarcocystidae, cuya relevancia epidemiológica ha aumentado en las últimas tres décadas. Este parásito, cuyo ciclo biológico involucra hospederos definitivos caninos y hospederos intermediarios, como los bovinos, ha sido objeto de intensas investigaciones en parasitología veterinaria, inmunopatología y epidemiología aplicada. La literatura científica, especialmente aquella indexada en bases de alto impacto como Scopus y Web of Science, ha demostrado la compleja interacción entre factores genéticos, inmunológicos y ambientales que determinan la susceptibilidad a la infección y la expresión clínica de la enfermedad.

Este texto está orientado a profesionales de la salud animal, académicos, estudiantes avanzados de medicina veterinaria y zootecnia, así como a técnicos y asesores del sector pecuario, interesados en comprender a profundidad la fisiopatología, el diagnóstico, la epidemiología y las estrategias de control de la neosporosis bovina. Más allá de describir al agente etiológico, se profundiza en su biología molecular, su capacidad para inducir respuestas inmunes celulares y humorales, y su impacto directo en la eficiencia reproductiva de las explotaciones lecheras. Cada capítulo ha sido desarrollado con rigor académico, fundamentado en evidencia científica reciente (2020-2025), y enriquecido con diagramas, tablas y esquemas prácticos que facilitan la comprensión y aplicación del conocimiento en campo.

El valor agregado de esta obra radica en la integración de conceptos de bioseguridad, programas de reemplazo selectivo, selección genética mediante paneles SNP y manejo integral del hato como herramienta para disminuir la prevalencia de *N. caninum*. Asimismo, se abordan aspectos prácticos relacionados con el diagnóstico serológico y molecular, la interpretación de resultados en contextos epidemiológicos diversos, y el diseño de protocolos de manejo reproductivo ajustados a la realidad de sistemas lecheros en América Latina, con énfasis en Ecuador. Este enfoque permite que el libro no solo sea una referencia académica, sino también una guía técnica aplicable en la toma de decisiones estratégicas para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad de las explotaciones.

En la elaboración de esta obra, se ha dado especial importancia a la integración de estudios epidemiológicos locales y globales, incluyendo análisis de prevalencia regional, identificación de factores de riesgo y

evaluación económica de medidas de control. La literatura revisada confirma que la neosporosis representa una de las principales causas de aborto bovino en múltiples países, con tasas de seropositividad que superan el 30 % en hatos intensivos. Esta situación obliga a los profesionales veterinarios a replantear las estrategias de prevención, priorizando programas de bioseguridad interna y externa, control de reservorios y educación continua a productores.

El prólogo también busca resaltar la importancia de la investigación interdisciplinaria en parasitología veterinaria, un campo que ha evolucionado significativamente gracias al desarrollo de técnicas moleculares como la PCR en tiempo real, la secuenciación de nueva generación y el uso de marcadores genómicos para estudiar la variabilidad de cepas de *N. caninum*. Estos avances han permitido comprender mejor los mecanismos de patogenicidad, las rutas de transmisión y los factores que condicionan el fallo reproductivo en bovinos. Asimismo, se ha avanzado en el desarrollo de modelos matemáticos y epidemiológicos que facilitan la predicción de la dinámica de la enfermedad en hatos, orientando políticas de prevención y control basadas en evidencia.

La presente obra no se limita a una descripción exhaustiva del parásito y su ciclo biológico, sino que promueve una visión holística que integra salud animal, producción sostenible y bienestar animal. El lector encontrará capítulos dedicados al análisis de la fisiopatogenia en bovinos y caninos, la evaluación de las repercusiones productivas y económicas de la neosporosis, y el diseño de protocolos reproductivos estratégicos que contemplan la bioseguridad, la genética y la gestión

empresarial. Cada apartado ha sido concebido para que médicos veterinarios con experiencia en campo puedan tomar decisiones más informadas, pero también para formar nuevas generaciones de profesionales con pensamiento crítico y enfoque basado en ciencia.

Como autora y coautora de investigaciones orientadas al diagnóstico y control de esta parasitosis, he procurado que este libro combine teoría y práctica, fundamentando cada afirmación con estudios científicos recientes, gráficos epidemiológicos y diagramas diseñados para la enseñanza y la aplicación profesional. De igual forma, el texto refleja más de 30 años de experiencia acumulada en medicina veterinaria, parasitología y reproducción bovina, con el objetivo de ofrecer un recurso académico de alta calidad y relevancia.

Este prólogo invita al lector a explorar una obra construida desde la rigurosidad científica, la pasión por la medicina veterinaria y el compromiso con la salud animal y la producción ganadera sostenible. La neosporosis, lejos de ser una enfermedad emergente de relevancia exclusivamente académica, representa un reto constante para el sector pecuario y una oportunidad para la innovación en diagnóstico, prevención y manejo. Confiamos en que el contenido de este libro contribuya significativamente a mejorar la sanidad de los hatos, optimizar los indicadores reproductivos y sentar bases sólidas para investigaciones futuras que permitan enfrentar de manera integral esta y otras enfermedades que afectan la productividad bovina

ÍNDICE

PRÓLOGO.....	i
---------------------	----------

ÍNDICE.....	v
--------------------	----------

ÍNDICE DE TABLAS	xiii
-------------------------------	-------------

ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
--------------------------------	------------

CAPÍTULO I.....	15
------------------------	-----------

1 GENERALIDADES DE LA NEOSPOROSIS	15
--	-----------

1.1 Introducción a la neosporosis bovina: contexto global, regional y local.....	15
---	----

1.2 Historia de descubrimiento del Parásito.....	17
.....	17

1.2.1 Del perro al hato: irrupción en reproducción bovina (décadas de 1990–2000) y su visión actual.....	18
---	----

1.2.2 El ciclo de vida: caninos como huéspedes definitivos y la doble vía de transmisión	19
---	----

1.2.3 Morfología a los antígenos: refinamiento diagnóstico y especificidad.....	20
--	----

1.2.4 Patogénesis gestacional: Tríada placenta–feto–inmunidad...	21
--	----

1.2.5 Epidemiología comparada y fauna silvestre: Reservorios	21
---	----

1.2.6 Control: del manejo de riesgo, vacunología.....	22
1.2.7 Visión al 2025: Lo que cambió y lo que permanece.....	23
1.2.8 Panorama epidemiológico mundial y regional	24
1.2.9 Importancia en los sistema lecheros.....	27
CAPÍTULO II	32
2 BIOLOGÍA Y EPIDEMIOLOGÍA DE NEOSPORA CANINUM.....	32
2.1 Clasificación taxonómica	32
2.2 Morfología.....	33
2.3 Ciclo Biológico y hospedadores.....	34
2.4 Mecanismos de transmisión vertical y horizontal.....	36
2.5 Epidemiología aplicada en producción bovina	37
2.6 Distribución geográfica y factores de riesgo.....	40
2.7 Estudios de prevalencia en bovinos lecheros	42
CAPÍTULO III	46
3 LA NESOPOROSIS EN LA GANADERÍA	46
3.1 Influencia de la gestión del hato y la bioseguridad.....	46

3.1.1 Gestión integral del hato: Prevención desde la reproducción y la recría.....	46
3.1.2 Bioseguridad como herramienta de control	47
3.1.3 Sostenibilidad ganadera y control de la neosporosis.....	48
CAPÍTULO IV.....	50
4 FISIOPATOLOGÍA Y MANIFESTACIONES CLÍNICAS	50
4.1 Impacto en ternero neonatos y recría	56
4.1.1 Panorama clínico.....	57
4.1.2 Clasificación de resultados reproductivos en la descendencia y su fisiopatología	57
4.1.3 Nacidos vivos infectados (terneros neontales) presentación clínica y fisiopatología	59
4.1.4 Manifestaciones clínicas en el ternero neonatal, cuadro clínico y correlato anatómico.....	59
4.1.5 Diagnóstico en neonatos y en fetos abortados — criterios y utilidad de cada prueba.....	60
4.1.6 Impacto sobre la recría (desde el nacimiento hasta la inclusión en el hato productor)	61

4.1.7 Consideraciones prácticas para el manejo de neonatos y recría	62
4.1.8 Estrategias en recría para reducir la perpetuación intrahato .	63
4.1.9 Implicaciones económicas y recomendaciones de vigilancia	63
CAPÍTULO V	65
5 MANEJO SANITARIO DE LA NEOSPOROSIS.....	65
5.1 Metodología diagnóstica	65
5.1.1 Evaluación clínica y antecedentes epidemiológicos	66
5.1.2 Necropsia del feto y la placenta	66
5.2 Principios de ELISA e IFAT	69
5.2.1 IFAT	69
5.2.2 ELISA	69
5.2.3 Ventajas y limitaciones recientes	72
5.3 Fundamentos Técnicos de la PCR y qPCR para la Detección de N. caninum	75
5.3.1 Aplicaciones diagnósticas y ventajas de las técnicas moleculares....	77
5.4 Estrategias de control y manejo sanitario.....	80

5.4.1 Bioseguridad y control de vectores	80
5.5 Principios de bioseguridad en el control de la neosporosis...	81
5.5.1 Bioseguridad externa.....	81
5.5.2 Bioseguridad interna	82
5.6 Vectores y hospedadores definitivos.....	83
5.6.1 Perros domésticos (<i>Canis lupus familiaris</i>).....	83
5.7 Bioseguridad y sostenibilidad	87
5.8 Selección genética y programas de reemplazo.....	87
5.8.1 Selección genética y reemplazo estratégico	87
5.9 Fundamentos genéticos: Posible resistencia genética a <i>N. caninum</i>	88
5.9.1 Visión general	88
5.9.2 Heredabilidad e implicaciones prácticas	89
5.9.3 Marcadores genómicos y herramientas modernas	89
5.9.4 Genómica aplicada en la práctica del productor	90
5.9.5 Diseño de programas de reemplazo en hatos con prevalencia	90
5.9.6 Protocolos recomendados.....	91

5.10 Modelos económicos: coste-beneficio del reemplazo selectivo versus test-and-cull.....	92
5.11 Adaptación al contexto Ecuador: recomendaciones específicas basadas en datos.....	93
5.12 Avances en investigación y perspectivas futuras	99
5.12.1 Desarrollo de vacunas	99
5.12.2 Nuevas terapias antiparasitarias	100
5.12.3 Innovaciones en control y manejo sanitario	101
5.13 Interacción entre infección y productividad lechera.....	104
5.13.1 La Neosporosis como un Problema de Gestión y Rentabilidad....	104
5.13.2 Mecanismos de pérdida: más allá del aborto evidente...	105
5.13.3 Análisis cuantitativo de las pérdidas por vaca y por ható	106
5.13.4 Contexto mundial: impacto en la competitividad global	107
5.13.5 Contexto americano: pérdidas en la cadena de valor.....	107
5.13.6 Contexto Ecuatoriano: Análisis de la Realidad Productiva Nacional.....	107

5.13.7 Estrategias de control basadas en el análisis costo-beneficio.....	109
5.13.8 Control de huéspedes definitivos: la medición de mayor ROI.....	110
5.14 Propuesta de plan de acción para el productor ecuatoriano	110
5.15 Neosporosis con un enfoque gerencial.....	111
5.16 Modelos Predictivos de Impacto en Producción Bovina	112
5.16.1 Importancia de los datos en la ganadería de precisión...	112
5.16.2 Tipología y fundamentos de los modelos predictivos en producción animal.....	113
5.16.3 Predictores de enfermedad y fertilidad	114
5.16.4 Modelos predictivos en nutrición y producción.....	115
5.16.5 Integración de datos ambientales y de bienestar animal	116
5.16.6 Modelos económicos y de gestión financiera	117
5.16.7 Implementación práctica.....	117
5.16.8 Limitaciones y consideraciones éticas	118
5.16.9 Caso de estudio: modelo predictivo de riesgo de aborto por Neospora en Ecuador	119

5.16.10	Explicación de los árboles de decisión.....	123
---------	---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de <i>Neospora caninum</i>	32
Tabla 2. Prevalencia de Neosporosis por provincias.	44
Tabla 3. Signología, sustancias involucradas y órganos afectados en la neosporosis canina.	54
Tabla 4. Signología, sustancias involucradas y órganos afectados en la neosporosis bovina.	55
Tabla 5. Comparación ELISA versus IFAT basada en estudios de vanguardia.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista microscópica de bradizoítos.	34
Figura 2. Diagrama del ciclo biológico del <i>Neospora caninum</i>	36
Figura 3. Diagrama de las formas de transmisión.	37
Figura 4. Distribución mundial de la Neosporosis Bovina.....	40
Figura 5. Distribución mundial de la Neosporosis Bovina.....	44
Figura 6. Prevalencia de Neosporosis por provincias.	45
Figura 7. Patogenia del protozoario en cánidos.....	53
Figura 8. Patogenia del protozoario en bovinos.	55
Figura 9. Bioseguridad y control de la Neosporosis.....	83
Figura 10. Esquema de protocolos reproductivos (Protocolo A y Protocolo B).....	92
Figura 11. Diagrama de modelo predictivo para Neosporosis.	123
Figura 12. Árbol 1.	124
Figura 13. Árbol 2.	125
Figura 14. Árbol 3.	125

CAPÍTULO I

1 GENERALIDADES DE LA NEOSPOROSIS

1.1 Introducción a la neosporosis bovina: contexto global, regional y local

El estudio de la Neosporosis en ganado se ha fundamentado de manera histórica en las pruebas de campo, incluyendo el examen clínico general y el examen clínico orientado a problemas; agrupando signos y síntomas con el fin de realizar un diagnóstico presuntivo más atinado; además recabar evidencia clínica que soporte la teoría sobre la incidencia de abortos en vacas lecheras; en España Un estudio realizado en áreas clave de producción ganadera en España utilizó 80 fetos abortados bovinos para determinar el papel de *Neospora caninum* en el aborto. El enfoque se basó en varias técnicas, incluidos análisis histopatológicos e inmunohistoquímica, serología en fetos de la madre y pruebas de alta sensibilidad y especificidad como IFAT y ELISA, y derivación de genes de PCR.

En varias investigaciones llevadas a cabo se reportan resultados que mostraron 38,8% de fetos infectados con al menos una de las pruebas. Las lesiones observadas en el cerebro fueron consistentes con la infección por este agente etiológico (Pereira-Bueno et al., 2003). En la región de Hamedán en Irán, se llevó a cabo el estudio de prevalencia por la infección de este protozoo en Bovinos machos; se inicio el con 792 muestras de sangre analizadas por de ELISA e IFAT, obteniéndose un 3,91% de prevalencia; mientras que al analizar otros tejidos para verificar los sesgos que pudieron ocurrir; se procedió a un

segundo muestreo de sangre, además de tejido del epidídimo y médula espinal para someterlas en este caso a la prueba gold standar PCR en el diagnóstico veterinario (Gharekhani et al., 2023).

En cuanto al contexto del Ecuador se han realizado pesquisas en diferentes localidades en hatos ganaderos de comunidades y del sector privado, como por ejemplo un estudio en cinco fincas de la provincia de Chimborazo con vacas Holstein y Jersey; en la investigación se analizaron los registros reproductivos de las vacas a muestrearse y se realizaron pruebas de ELISA en 170 vacas y 7 perros; con la finalidad de detectar anticuerpos contra *Brucella abortus* y *Neospora caninum*. Se determinó que el 55,6 % de las vacas fueron seropositivas; de los 105 ejemplares que presentaron abortos; se estima una pérdida de \$ 552 por aborto y \$8.987 anuales por finca (Baquero Tapia et al., 2022).

En un estudio realizado a nivel local en la provincia de Tungurahua se determinó una incidencia del 17,5 % mediante la prueba de ELISA para *Neospora caninum*, mientras que el 80.00% fueron negativos y el 2.50% mostraron resultados dudosos.

Como complemento destacable en esta investigación se realizó estudios en todos los caninos pertenecientes a las lecherías de la comunidad; resultando En el 100% positivo, lo cual evidencia el alto riesgo de transmisión que representa esta especie al ser su hospedador principal.

Las tasas de morbilidad específica son 17.50% en bovinos y el 100% en caninos, en este tipo de estudios transversales con carácter epidemiológico es sumamente importante identificar los factores de

riesgo y la influencia de estos y la seropositividad; ante lo cual se determinó una fuerte correlación positiva (0.71), estadísticamente significativa (**), entre las tasas de morbilidad de ambas especies, indicando una relación directa.

Posterior al estudio de campo y con la revisión in situ de los bovinos; los procedimientos de laboratorio efectuados se enfatizan en la necesidad de acceder a métodos diagnósticos más precisos y estrategias integradas para el control de esta parasitosis a nivel comunitario.

1.2 Historia de descubrimiento del Parásito

Los orígenes: de “toxoplasmosis canina atípica” a un nuevo género (años 1980).

A mediados de los años ochenta, médicos veterinarios clínicos de animales de compañía describen caninos con un síndrome neuromuscular progresivo que presentaba paresias, ataxia, contracturas extensores con lesiones encefalomiélicas y miopáticas que recordaban la toxoplasmosis, pero con hallazgos histológicos e inmunohistoquímicos que no eran concordantes con su diagnóstico primario. Aquellos aislamientos, inicialmente confundidos con *Toxoplasma gondii*, conllevan a un análisis específico de antígenos y ultraestructura; para que posteriormente en 1988 se reconozca formalmente a un nuevo protozoo - coccidio tisular: *Neospora caninum*; hecho que se ha recapitulado ampliamente en varios textos de parasitología y epidemiología veterinaria. (Reichel et al., 2020; Wang et al., 2020).

La denominación “*Neospora*” basada en el significado epistemológico de su termino refleja justamente con Neo “nuevo” parásito morfológica y antígenicamente emparentado con *T. gondii*, pero distinto.

En cuanto a la descripción taxonómica y sus condiciones biológicas el caso fue mucho más complejo, abriendo un campo completo para la patología comparada: en cuanto a su hospedadores, condiciones medioambientales para su desarrollo, similitudes con otros géneros y comportamiento epidemiológico.

1.2.1 Del perro al hato: irrupción en reproducción bovina (décadas de 1990 – 2000) y su visión actual

Pocos años después de la descripción original, se produjo el giro que marcó la sanidad bovina: la asociación entre seropositividad a *N. caninum* y aborto en vacas. A nivel patológico se objetivaron encefalitis no supurativas fetales con necrosis focal y taquizoítos/bradizoítos, y en epidemiología reproductiva emergió un patrón de pérdidas gestacionales esporádicas o endémicas en hatos lecheros. Si bien ese cuerpo de evidencia se construyó entre 1990–2010, síntesis modernas confirman y afinan magnitudes: metaanálisis recientes ubican a *N. caninum* como el agente infeccioso más detectado en abortos bovinos a escala mundial ($\approx 22.2\%$ de los casos con agente identificado; $\approx 16.7\%$ cuando además hay lesiones compatibles que confirman causalidad), recordando la necesidad de criterios diagnósticos estrictos (Hecker et al., 2023). Otro metaanálisis centrado en “bovinos que abortan” destaca prevalencias altas por serología e IHQ/PCR, con heterogeneidad metodológica considerable y sesgos de publicación que debemos interpretar con

prudencia (Nayeri et al., 2022). En conjunto, la lectura moderna refrenda lo que clínicamente observamos desde hace décadas: *N. caninum* es un pilar etiológico del aborto infeccioso bovino, con peso variable por región, sistema y herramientas diagnósticas empleadas (Hecker et al., 2023; Nayeri et al., 2022).

1.2.2 El ciclo de vida: caninos como huéspedes definitivos y la doble vía de transmisión

Otro quiebre conceptual clave ya cristalizado y fortalecido por revisiones 2020–2025 es el reconocimiento del ciclo heteroxeno con cánidos como hospedadores definitivos (excreción de ooquistes en heces) y rumiantes (entre otros mamíferos) como huéspedes intermediarios (Tirosh-Levy et al., 2025). Esta arquitectura biológica explica dos rutas que sostienen la infección en campo:

Transmisión horizontal: ingestión de ooquistes esporulados del ambiente contaminado por perros (o cánidos silvestres) → primo-infección en hembras.

Transmisión vertical (transplacentaria): recrudesencia de bradizoítos en gestación con parasitemia y paso al feto, con aborto, momificación o nacimiento de crías persistentemente infectadas, que perpetúan la infección en el linaje (Tirosh-Levy et al., 2025; Gual et al., 2022).

La evidencia contemporánea es inequívoca: la vía vertical es el motor epidemiológico intrahato, responsable del patrón endémico y de la “herencia” de la infección entre vacas y sus hijas (Tirosh-Levy et al., 2025; Gual et al., 2022). La horizontal, si bien crítica para

introducir/recircular cepas, parece menos frecuente a escala de rebaño; no debe subestimarse donde hay alta presión de ooquistes por presencia de perros y manejo de placentas/abortos (Tirosh-Levy et al., 2025; Minicucci et al., 2025). Paralelamente, la ecología canina (perros rurales, de traba o vagabundos) y su seroprevalencia—con cifras altas reportadas en distintos países—subrayan su rol como fuente ambiental (Mukbel et al., 2024; Turlewicz-Podbielska et al., 2024).

1.2.3 Morfología a los antígenos: refinamiento diagnóstico y especificidad

La confusión temprana con *T. gondii* forzó al campo a construir paneles diagnósticos más específicos: antígenos de superficie como NcSAG1, proteínas de secreción de roptrias (ROP) y gránulos densos (GRA), además de loci repetitivos como Nc5 en PCR, hoy son parte del repertorio estándar (Wang et al., 2020). Las revisiones metodológicas actuales insisten en tres puntos que la experiencia clínica avala:

La serología sola no alcanza para atribuir causalidad en aborto; se requiere demostrar el parásito y lesiones compatibles en tejidos fetales/placenta (Hecker et al., 2023).

La IHQ y la PCR (sobre SNC fetal, corazón, pulmón, lengua o placenta) incrementan la certeza diagnóstica si se integran con histopatología (Hecker et al., 2023; Nayeri et al., 2022).

La interpretación clínica debe considerar ventana gestacional: las recrudescencias durante el segundo trimestre suelen ser más abortígenas

que infecciones tardías que culminan en terneros infectados pero viables (Gual et al., 2022).

Este rigor evita sobrediagnósticos y orienta decisiones de manejo (descartar o no líneas maternas, ajustar bioseguridad). También explica por qué estimaciones “solo serológicas” en abortos tienden a sobrestimar la atribución causal a *Neospora* (Hecker et al., 2023).

1.2.4 Patogénesis gestacional: Triada placenta–feto–inmunidad

La narrativa moderna de patogénesis se centra en la dinámica bradizoíto ↔ taquizoíto ante la modulación inmune y endocrina de la gestación. En vacas crónicamente infectadas, el embarazo crea un microambiente más permisivo (cambios Th1/Th2, hormonales) que reactiva bradizoítos y desencadena parasitemia con tropismo por placenta y SNC fetal (Gual et al., 2022). El desenlace aborto versus cría infectada viable que depende de la edad gestacional, la carga parasitaria y la competencia inmune fetal. Estos principios, ya clásicos, han sido reforzados por trabajos recientes que describen perfiles de citoquinas y la histopatología característica, proporcionando correlatos para el diagnóstico integral (Gual et al., 2022; Hecker et al., 2023).

1.2.5 Epidemiología comparada y fauna silvestre: Reservorios

Aunque el binomio perro–bovino domina la economía del problema, revisiones 2022–2025 enfatizan la amplitud de hospedadores intermediarios (ovinos, caprinos, cérvidos, suidos) y documentan transmisión vertical en vida silvestre (Zanet et al., 2023). Si bien la atribución causal en ovinos y caprinos es más esquiva por la alta

seroprevalencia de fondo y cofactores abortígenos, la presencia de *Neospora* en esas cadenas ecológicas implica oportunidades de “spillover” local y advierte sobre bioseguridad en paisajes agrosilvestres (Nayeri et al., 2022; Zanet et al., 2023). En perros, estudios 2024–2025 muestran seroprevalencias elevadas y factores de riesgo (tipo de custodia, alimentación, convivencia con rumiantes), elementos prácticos para planes de control (Mukbel et al., 2024; Turlewicz-Podbielska et al., 2024).

1.2.6 Control: del manejo de riesgo, vacunología

Las herramientas de control han sido históricamente no farmacológicas: bioseguridad (gestión de placentas/abortos, impedir acceso de perros a restos, control de población canina), estrategias reproductivas (evitar cría de hijas seropositivas en hatos con problema), y manejo nutricional-sanitario para reducir estresores en gestación (Reichel et al., 2020; Tirosh-Levy et al., 2025). En el frente inmunoproláctico, tras experiencias mixtas con candidatos inactivados o de antígenos subunitarios, vuelve a cobrar interés la vacunación con organismos vivos atenuados: bajo condiciones de campo, se han reportado reducciones de abortos en vacas seropositivas vacunadas a mitad de gestación (Mazuz et al., 2021). La investigación preclínica y de revisión 2024–2025 reaviva la agenda de vacunas y adyuvantes de nueva generación (vectoriales, multiepítipo, enfoque anti-vertical), aunque aún no disponemos de un biológico universalmente aprobado/comercialmente consolidado (Imhof et al., 2024; Tirosh-Levy et al., 2025). El objetivo estratégico es claro: cortar la transmisión

vertical para “desparasitar” el linaje sin sacrificar productividad (Rimayanti et al., 2025).

1.2.7 Visión al 2025: Lo que cambió y lo que permanece

A casi cuatro décadas del primer reconocimiento clínico en perros y más de treinta años del impacto reproductivo en bovinos, la historia de *Neospora caninum* es paradigmática: un coccidio “gemelo” de *Toxoplasma* que exigió precisión diagnóstica, y un enemigo reproductivo que colonizó la agenda de la lechería global. La evidencia 2020–2025 consolida su papel en el aborto bovino y refina matices críticos: *cuándo* atribuir causalidad, *cómo* jerarquizar vertical vs. horizontal y *qué* intervenciones son más costo-efectivas según el contexto. El futuro inmediato se juega en tres frentes: (1) diagnóstico con cadena de evidencia (lesión + detección parasitaria), (2) bioseguridad ecosistémica con foco canino y silvestre, y (3) vacunología anti-vertical pragmática, con métricas duras de aborto y de infección congénita en seguimiento multigeneracional (Hecker et al., 2023; Tirosch-Levy et al., 2025; Mazuz et al., 2021).

En síntesis, el “descubrimiento” de *Neospora* no fue un evento único en 1988 sino una secuencia: primero clínica (perros), luego taxonómica (nuevo parásito), después productiva (reproducción bovina), finalmente traslacional (control). Esa secuencia sigue viva: cada avance molecular o inmunológico reescribe cómo diagnosticamos, atribuimos y prevenimos un aborto hoy.

1.2.8 Panorama epidemiológico mundial y regional

La Neosporosis es una enfermedad producida por un parásito protozoario (*Neospora caninum*) de distribución mundial, presentando tasas de morbilidad alarmantes en el ámbito ganadero con grandes pérdidas en la producción de leche y carne; además de las graves sinología y sintomatología destacando los abortos recurrentes, días abierto (Pérez & Rojas, 2021).

Es una patología mundialmente estudiada, debido a que se considera una de las principales causas de aborto en ganado bovino a nivel global, con pérdidas estimadas de entre US \$1 300 millones y US \$2 400 millones anuales en la industria lechera, y alrededor de US \$843 millones únicamente en Estados Unidos (Reichel et al., 2013).

El sistema ganadero a nivel del mundo; ya que como se ha anotado anteriormente es una de las principales causas de aborto que no se detecta oportunamente y genera pérdidas; que se estiman entre los \$1300 a \$2400 millones anuales en la industria lechera; por otra parte desde el punto de vista epidemiológico se menciona que el grado de afectación en el ganado bovino es significativo; estimándose una prevalencia aproximada del 24 % en América Latina, 18 % en Asia y 14 % en Europa y África, con un 8 % de abortos en vacas lecheras atribuidos a *N. caninum* (Reichel et al., 2013).

En Ecuador, el sector agropecuario se afínca en varios pilares, siendo uno de ellos el ganadero con pequeños productores y crianza tradicional especialmente en la región andina. Diversos estudios en varias regiones del país reportan seroprevalencia de *N. caninum* en hatos lecheros; con

valores entre el 23% y 41%, lo que conlleva un serio problema de salud animal y por ende salud pública; al ser una enfermedad de declaración obligatoria ante las entidades pertinentes de regulación zoonosanitaria (Baquero Tapia et al., 2022).

Esta patología representa un problema emergente en sanidad animal, asociada a abortos y reducción de la productividad lechera. En regiones agropecuarias como Tungurahua, donde la ganadería lechera es clave en la economía rural, es fundamental evaluar la morbilidad producida por la transmisión de este protozoo y su impacto en la producción. Comprender esta relación permitirá desarrollar estrategias de control que mejoren la eficiencia productiva y reduzcan pérdidas económicas. La investigación busca llenar vacíos de información local sobre la prevalencia y consecuencias de la infección, contribuyendo a mejorar la salud animal y la rentabilidad de los sistemas lecheros.

Desde el punto de vista médico es sumamente importante la aplicación de técnicas diagnósticas de alta especificidad, que detecten la patología desde estadios tempranos con la finalidad de estandarizar un protocolo de muestreo, control, tratamiento y descarte de ser el caso; ya que es patología es de reporte obligatorio según la institución reguladora de la Sanidad Animal a nivel nacional; sin dejar de mencionar que el carácter de zoonosis de esta enfermedad la convierte en un alto riesgo para las personas que laboran en el campo; siendo en su mayoría sectores sin instrucción e incipiente manejo de la asepsia, pudiendo enfermar a hombres, mujeres y niños que se encuentran en contacto directo e indirecto con los hospedadores intermedios del parásito como es el perro

y el hospedador definitivo para completar su ciclo evolutivo, en este caso los bovinos (Tirosh & Levy et al., 2025).

Desde el punto de vista epidemiológico es esencial comprender la dinámica de transmisión de *Neospora caninum* en poblaciones bovinas lecheras. En regiones con sistemas de producción tan diferentes como sus ecosistemas y condiciones climáticas se ha reportado la presencia de este parásito; siendo los estudios de la frecuencia, distribución y determinantes de esta infección los que permiten identificar patrones de riesgo asociados a prácticas ganaderas, manejo reproductivo y exposición ambiental. En la mayoría de investigaciones que se se toman como fuente de información de se desarrolla la investigación con un diseño metodológico basado en estudios transversales con pruebas serológicas sensibles y específicas para estimar la prevalencia y establecer asociaciones entre la infección y variables productivas. La epidemiología veterinaria no solo permite caracterizar los factores de riesgo, sino también formular modelos de intervención ajustados al contexto territorial y cultural de las comunidades productoras.

En la práctica veterinaria, el abordaje clínico-reproductivo del ganado infectado es clave para interpretar la relevancia de *N. caninum* en la eficiencia lechera. La identificación de signos clínicos como repeticiones de celo, abortos a mitad de gestación, retención placentaria o infertilidad debe integrarse con datos productivos (litros de leche/lactancia) y reproductivos (intervalo parto-concepción, tasa de natalidad). La justificación metodológica en este eje implica incluir anamnesis detallada, registros zootécnicos y evaluación reproductiva

por palpación transrectal o ecografía, vinculando estos hallazgos con los resultados serológicos (Basso et al., 2023).

El enfoque clínico-epidemiológico es prioritario para formular estrategias preventivas específicas y programas de control sanitario basados en diagnóstico efectivo con la selección de pruebas de gabinete de alta sensibilidad y especificidad es fundamental para asegurar la validez interna del estudio. Entre las técnicas recomendadas, el ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) y la prueba de inmunofluorescencia indirecta (IFAT) son consideradas gold standard para la detección de anticuerpos IgG contra *N. caninum*. Su implementación permite diferenciar animales expuestos de aquellos infectados activamente, lo que es esencial para correlacionar morbilidad con parámetros productivos. El uso de kits validados y controles positivos/negativos asegura la confiabilidad de los resultados, mientras que el análisis estadístico multivariado puede identificar asociaciones entre seropositividad y disminución en la producción lechera (González-Warleta et al., 2021).

1.2.9 Importancia en los sistema lecheros

Esta patología es una de las enfermedades reproductivas más devastadoras económicamente para la ganadería lechera intensiva. Su importancia no radica solo en causar abortos esporádicos, sino en instalarse de forma permanente en el hato, generando pérdidas silenciosas y continuas que minan la rentabilidad a través de dos vías principales: el aumento de los días abiertos y la creación de un ciclo de infección perpetuo a través de las hembras y sus crías portadoras.

Los días abiertos (el período entre el parto y la siguiente preñez exitosa) son el indicador más sensible de la eficiencia reproductiva de un hato lechero. La neosporosis impacta este indicador de manera severa y multifacética:

Aborto y Reinicio del Ciclo Reproductivo: El efecto más evidente es el aborto, que comúnmente ocurre entre el cuarto y sexto mes de gestación. Cuando una vaca aborta, todos los días de gestación se pierden y el conteo de días abiertos se extiende dramáticamente. El proceso implica:

- Tiempo de recuperación uterina post-aborto.
- Reinicio del protocolo de sincronización e inseminación artificial.
- Riesgo de repetir servicios o fallas en la concepción.

Consecuencia: Cada día abierto adicional representa costos en alimentación, manejo y, lo más crítico, pérdida de leche en la lactación siguiente, ya que se retrasa el nuevo pico de producción.

Pérdida Embrionaria Temprana y Repetición de Celo: La infección no siempre termina en un aborto visible. El parásito puede causar la muerte del embrión en sus primeras etapas (antes de los 45 días). Clínicamente, esto se manifiesta como una vaca que "vuelve a celo" después de haber sido inseminada, sin que el operario sospeche de neosporosis. Esto prolonga los días abiertos de manera silenciosa pero constante, haciendo que el problema se atribuya erróneamente a otras causas como baja calidad seminal o errores en la detección de celo.

Disminución de la Tasa de Concepción: Vacas crónicamente infectadas pueden presentar una menor tasa de preñez por inseminación. La inflamación y la respuesta inmune persistente crean un ambiente uterino desfavorable para el establecimiento de la gestación, aumentando el número de servicios por concepción y, por ende, los días abiertos.

Resumen del Impacto Inmediato: Un brote de neosporosis eleva el promedio de días abiertos del hato, lo que se traduce en mayores costos operativos, menor producción de leche por lactación y una reducción en el número de terneros nacidos por año.

El verdadero desafío de la neosporosis es su capacidad para perpetuarse en el tiempo, creando un problema generacional que es extremadamente difícil de erradicar.

En las Hembras Infectadas (Portadoras Adultas):

Infección de Por Vida: Una vaca infectada lo será para siempre, ya que el parásito forma quistes en los tejidos nerviosos. No existe un tratamiento eficaz y económico que elimine la infección.

Riesgo Reproductivo Recurrente: En cada gestación, la vaca portadora enfrenta el riesgo de abortar o de transmitir el parásito a su cría. Aunque puede tener gestaciones normales, siempre será un animal de alto riesgo.

Descarte Prematuro: La baja performance reproductiva (abortos recurrentes, alta tasa de repetición) hace que estas vacas sean candidatas primarias para el descarte, acortando su vida productiva útil y generando pérdidas de capital genético.

En las Crías de Hembras Infectadas (Transmisión Vertical - El Talón de Aquiles):

Este es el mecanismo más importante para la persistencia de la enfermedad en un hato lechero.

Alta Tasa de Transmisión: Aproximadamente el 90-95% de las crías nacidas de vacas infectadas nacerán a su vez infectadas. La mayoría de estas terneras serán clínicamente normales, crecerán bien y no mostrarán signos de enfermedad, pero serán portadoras asintomáticas.

Futuro Reproductivo Comprometido: Cuando estas terneras infectadas congénitamente se incorporan al hato como vaquillas de reemplazo, se convierten en el núcleo del problema a largo plazo:

Tienen de 3 a 7 veces más probabilidades de abortar en su primera gestación en comparación con una vaquilla sana.

Si logran parir, transmitirán el parásito a aproximadamente el 90% de sus crías, perpetuando el ciclo vicioso de transmisión vertical.

Pérdida Silenciosa de Producción: Al igual que sus madres, estas vaquillas infectadas de por vida mostrando una reducción en la producción de leche estimada entre un 5% y un 15% por lactación, incluso si no abortan. Esto representa una merma económica constante e invisible.

La neosporosis es mucho más que una causa de aborto. Es una enfermedad crónica, insidiosa y generacional que:

Aumenta los días abiertos: Reduce drásticamente la eficiencia reproductiva debido a abortos, muertes embrionarias y menor fertilidad.

Crea un ciclo autoperpetuante: La transmisión vertical garantiza que el problema se mantenga en el hato año tras año, sin necesidad de nueva contaminación externa.

Reduce la producción de leche: Afecta el rendimiento lácteo incluso de los animales aparentemente sanos.

Aumenta la tasa de descarte: Reduce la longevidad productiva de las vacas.

Por lo tanto, su importancia radica en que ataca los dos pilares de la rentabilidad lechera: la reproducción y la producción. Un programa de control basado en diagnóstico serológico (para identificar y manejar a las portadoras) y la exclusión de sus crías como animales de reemplazo es esencial para romper el ciclo y proteger la sostenibilidad económica del sistema de producción. Ignorar su impacto a largo plazo condena al productor a una pérdida económica continua y evitable.

CAPÍTULO II

2 BIOLOGÍA Y EPIDEMIOLOGÍA DE *NEOSPORA CANINUM*

2.1 Clasificación taxonómica

Neospora caninum es un protozoo apicomplejo relativamente recién reconocido relacionado con los cocíclicos *Toxoplasma*, *Sarcocystis* y *Cystoisospora*. Comparte muchas características biológicas con *Toxoplasma gondii*. Otra especie dentro del género, *Neospora hughesi*, se encuentra en caballos. *Neospora caninum* fue descrito por primera vez en 1988 como una causa de enfermedad neurológica en perros, y luego como una causa de aborto en ganado. Los ooquistes fueron descritos por primera vez de perros infectados experimentalmente en 1998.

Tabla 1. Taxonomía de Neospora caninum.

Nivel taxonómico	Clasificación
Dominio	Eukaryota
Reino	Protista
Filo	Apicomplexa
Clase	Conoidasida
Subclase	Coccidiasina
Orden	Eucoccidiorida

Suborden	Eimeriorina
Familia	Sarcocystidae
Género	<i>Neospora</i>
Especie	<i>caninum</i>

Nota. (Dubey et al., 1988).

2.2 Morfología

Los ooquistes no esporulados se pueden encontrar en las heces de los perros y los cánidos salvajes que sirven como huéspedes definitivos para *Neospora*. Los oocilesporulados en el ambiente tienen dos esorocís, cada uno con 4 esporozoitas. Aunque no se sabe nada de las etapas del ciclo de vida en los enterocisios del intestino delgado, presumiblemente estos toman la forma de meronts, microgamontes y macrogamonts, similares a otros cocíclicos.

Tanto en perros como en una amplia gama de huéspedes intermedios, los taquizoitos intracelulares se pueden encontrar en cualquier tejido, y quistes de tejido de paredes gruesas que contienen bradyzoites típicamente se desarrollan en tejido nervioso y músculos esqueléticos.

Los taquizoitos permanecen solos o en racimos. Los taquizoitos individuales varían en forma de luna llena o de media luna y miden aproximadamente 7 x 5 micras. En el ganado, los taquizoitos se pueden encontrar en muchos órganos y tejidos. Los quistes de tejido *de Neospora* que contienen bradyzoitas en el ganado se encuentran en el

cerebro y la médula espinal, y posiblemente en otras ubicaciones. Miden hasta aproximadamente 100 micras de diámetro, con una pared de quiste de 1 a 4 micras de espesor. Las bradyzoitas, que se encuentran dentro de los quistes de los tejidos, suelen ser delgadas y miden hasta aproximadamente 7 x 1,5 micras.

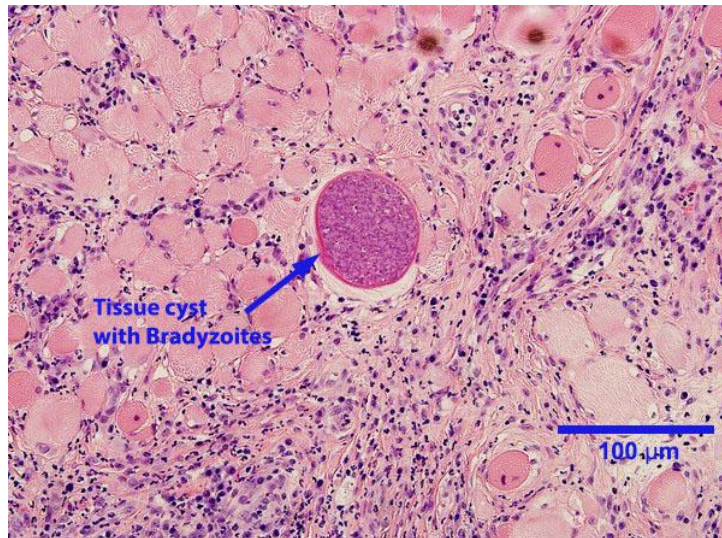


Figura 1. Vista microscópica de bradizoítos.

Fuente: Western College of Veterinary Medicine (2025)

2.3 Ciclo Biológico y hospedadores

Este microorganismo implica un hospedador intermediario, generalmente es el ganado vacuno y un hospedador mamífero definitivo, siendo los carnívoros canidos las especies de predilección como perros, zorros, lobos principalmente.

Este protozoo tiene un ciclo biológico heteroxeno, debido a que su etapa reproductiva sexual se da en el intestino del hospedador definitivo.

Los ooquistes presentes en las heces de los cánidos se expulsan al medio ambiente, para posteriormente ser ingeridos y deglutidos por el hospedador intermediario como los bovinos; después de la ingestión de un ooquiste se liberan los taquizoitos móviles que miden de 2 a 6 micras de longitud multiplicándose por endodiogénesis en forma rápida; estos taquizoitos se difunden en el organismo del hospedador y en dependencia de la respuesta inmune se diferencian a bradizoítos que se dividen por endodiogénesis en forma lenta formando quistes en el músculo y tejido.

Con la formación de estos quistes se deriva una infección crónica pos infestación en el hospedador intermediario; la infestación del hospedador intermediario sucede cuando este ingiere tejidos infectados del hospedador intermediario, completando así su ciclo biológico.

Aunque no es muy habitual el hospedador definitivo también puede infestarse con el consumo de cadáveres, alimentos y agua contaminada; mientras que en el hospedador intermediario se produce la transmisión por alimento o agua contaminada con ooquistes, en ambos hospedadores la transmisión también puede darse de forma vertical por vía transplacentaria.

La connotación de mayor importancia es el impacto en la salud del ganado bovino y además en la reducción de la fertilidad y por ende de la productividad del hato; ya que la Neosporosis causa abortos; en cuanto a la salud animal en los cánidos portadores puede causar degeneración neuromuscular con posterior parálisis del tren posterior, disfagia, parálisis de la mandíbula, flácidéz muscular, atrofia e inclusive fallo

cardíaco, además en algunos casos se puede dar lugar a la formación de quistes en el sistema nervioso central.

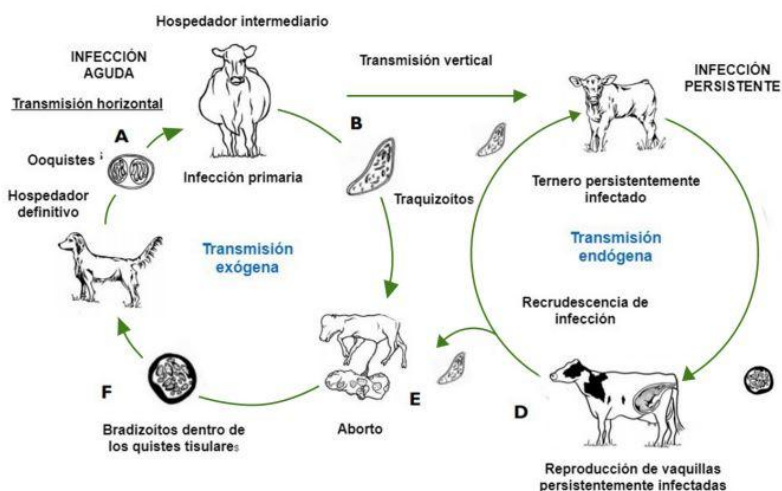


Figura 2. Diagrama del ciclo biológico del *Neospora caninum*.

Fuente: Industrial Técnica Ganadera, S.L. (2022).

2.4 Mecanismos de transmisión vertical y horizontal

Según Imhof et al. (2023) y Romero & Rojas (2020), generalmente la transmisión de este parásito se da por dos vías, la primera la vía horizontal; que se da por la ingestión directa de los ooquistes en fase infestiva en las heces de los cánidos, pudiendo contaminar el pasto y fuentes de agua. El ciclo evolutivo y de transmisión se cierra cuando los hospederos definitivos consumen tejidos infectados y excretan los ooquistes.

Fisher et al. (2024), menciona la vía vertical de transmisión, en la que la vaca en estado de gestación transmite el parásito al feto por vía trasplacentaria; este mecanismo tiene ocurrencias del 80 al 100% de

casos y puede presentarse en varias gestaciones e inclusive de modo consecutivo; explicándose de esta forma que los fetos viables serían portadores que se vuelven focos de diseminación sin que se incluya a los cánidos en el proceso lo cual ha sido documentado en trabajos de campo por Dubey et al. (2021).

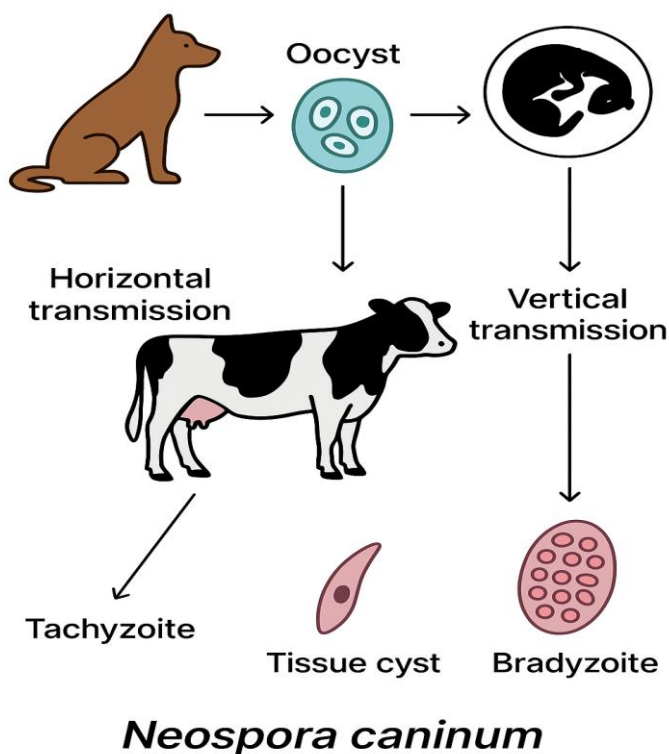


Figura 3. Diagrama de las formas de transmisión.

2.5 Epidemiología aplicada en producción bovina

La epidemiología aplicada en la producción bovina ofrece una visión integral del impacto de *Neospora caninum* en los sistemas de producción lechera y de carne, siendo una herramienta esencial para la

comprensión de la dinámica de transmisión del protozoario, la identificación de factores de riesgo y la aplicación de estrategias de control efectivas. Desde su descubrimiento en 1988 por Dubey et al., *N. caninum* se ha posicionado como una de las principales causas de abortos infecciosos en bovinos a nivel mundial, con reportes consistentes en todos los continentes.

La epidemiología aplicada se centra en el estudio de patrones de infección tanto a nivel individual como poblacional, integrando métodos serológicos, moleculares y de modelización matemática. En los hatos bovinos lecheros, la infección se mantiene predominantemente mediante transmisión vertical, donde las vacas infectadas congénitamente permanecen como portadoras crónicas a lo largo de su vida, sirviendo como reservorios y transmitiendo el parásito a su descendencia (Tirosh-Levy et al., 2025).

El abordaje epidemiológico considera múltiples niveles: el animal, el hato y el ecosistema circundante. Factores como el manejo inadecuado de perros —hospedadores definitivos—, la presencia de fauna silvestre, deficiencias en bioseguridad y el uso de semen o embriones contaminados son variables críticas en la perpetuación del parásito (Rimayanti et al., 2025). La modelización de estas variables permite diseñar intervenciones focalizadas, tales como programas de reemplazo selectivo, vacunación experimental y control poblacional de perros rurales.

La epidemiología molecular ha aportado datos fundamentales sobre la diversidad genética de *N. caninum*. Estudios recientes basados en

secuenciación genómica han identificado variaciones en genes asociados a la virulencia y la evasión inmune, lo que explica diferencias en patogenicidad entre cepas (Mukbel et al., 2024). Este conocimiento ha permitido relacionar brotes abortivos con linajes específicos, mejorando la trazabilidad de la infección.

Desde una perspectiva aplicada, el monitoreo epidemiológico rutinario mediante serologías periódicas y necropsias en casos de aborto se ha consolidado como una herramienta esencial para la toma de decisiones en medicina veterinaria preventiva (Nayeri et al., 2022). Estas medidas, integradas a sistemas de gestión de datos y registros productivos, permiten detectar patrones epidemiológicos estacionales y diseñar estrategias de control costo-efectivas.

En conclusión, la epidemiología aplicada a la neosporosis bovina es fundamental para comprender las interacciones huésped-parásito, evaluar el impacto económico en los sistemas de producción y optimizar los planes de bioseguridad. El uso de herramientas moleculares y estadísticas avanzadas sigue fortaleciendo el control y la prevención, contribuyendo al bienestar animal y a la sostenibilidad de la industria ganadera (Minicucci et al., 2025; Zanet et al., 2023).

2.6 Distribución geográfica y factores de riesgo

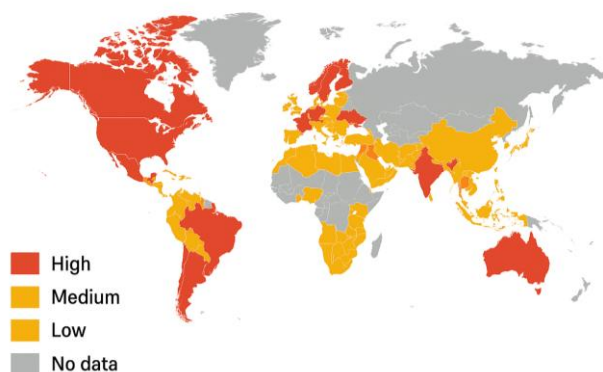


Figura 4. Distribución mundial de la Neosporosis Bovina.

Fuente: Elaboración propia con base en Nayeri et al. (2022) y Tirosh-Levy et al. (2025).

La distribución geográfica de *Neospora caninum* refleja su capacidad para adaptarse a múltiples sistemas de producción bovina, así como su estrecha relación con prácticas de manejo y presencia de hospedadores definitivos. Desde su identificación en América del Norte, se ha reportado en todos los continentes, con prevalencias variables dependiendo del sistema productivo y el nivel de intensificación (Reichel et al., 2020).

En América Latina, estudios epidemiológicos han demostrado una alta prevalencia serológica en bovinos lecheros, con cifras que oscilan entre el 30 % y el 70 % dependiendo del país y región (Nayeri et al., 2022). Esto se atribuye principalmente a sistemas extensivos con escasa bioseguridad, presencia libre de perros rurales y fauna silvestre. En contraste, en regiones con alta tecnificación y manejo reproductivo

avanzado, como Europa Occidental y Nueva Zelanda, la prevalencia suele ser menor, aunque los brotes abortivos siguen representando un problema productivo y económico significativo.

Factores climáticos y ecológicos influyen de forma determinante en la distribución del parásito. El ciclo de vida de *N. caninum* involucra ooquistes eliminados por perros infectados que pueden permanecer viables en el ambiente durante largos periodos, dependiendo de la temperatura y humedad. Regiones con climas templados y húmedos favorecen la persistencia ambiental y, por ende, incrementan el riesgo de transmisión horizontal (Tirosch-Levy et al., 2025).

Los estudios moleculares han permitido identificar variabilidad genética de cepas de este parásito en diferentes regiones. Esta diversidad genómica sugiere que ciertas variantes poseen mayor capacidad de provocar abortos y enfermedad clínica severa (Mukbel et al., 2024). Además, esta variabilidad genética plantea desafíos para el desarrollo de vacunas universales y estrategias de control global.

Desde el punto de vista productivo, la distribución geográfica tiene un impacto económico considerable. En países con sistemas lecheros intensivos, como Estados Unidos y algunos países europeos, el costo por vaca infectada puede superar los 200 USD anuales debido a pérdidas por aborto, reducción de producción láctea y reemplazo de animales (Rimayanti et al., 2025). En regiones en desarrollo, aunque los costos monetarios pueden ser menores, el impacto es más crítico debido a la dependencia económica de pequeños productores.

En resumen, es un patógeno cosmopolita cuyo control requiere un enfoque regionalizado, considerando las diferencias en prevalencia, sistemas productivos, prácticas de manejo y factores ambientales. La implementación de estudios de distribución geográfica es clave para diseñar programas de control adaptados a las realidades locales y reducir el impacto económico y sanitario en la ganadería global (Zanet et al., 2023).

2.7 Estudios de prevalencia en bovinos lecheros

Los estudios de prevalencia en bovinos lecheros han sido fundamentales para comprender la magnitud del problema y establecer estrategias de control específicas. Desde su descripción inicial, las investigaciones han revelado que la neosporosis es una de las principales causas infecciosas de aborto bovino en el mundo, superando incluso a otras enfermedades reproductivas como la brucelosis y la leptospirosis en determinadas regiones (Dubey et al., 1988; Hecker et al., 2023).

La seroprevalencia en hatos lecheros varía ampliamente según factores geográficos, genéticos, de manejo y de bioseguridad. Estudios recientes en América Latina reportan prevalencias serológicas que oscilan entre 30 % y 60 %, mientras que en Europa y Norteamérica se sitúan entre 10 % y 30 %, evidenciando una correlación con el nivel de intensificación productiva y el control de hospedadores definitivos (Nayeri et al., 2022; Minicucci et al., 2025).

La interpretación de los estudios de prevalencia debe considerar el tipo de prueba diagnóstica utilizada. Las técnicas serológicas como ELISA e IFAT son ampliamente empleadas para cribado poblacional debido a su

costo-efectividad, mientras que la PCR cuantitativa (qPCR) se utiliza para confirmar infecciones activas y evaluar carga parasitaria (Turlewicz-Podbielska et al., 2024). La combinación de pruebas incrementa la sensibilidad diagnóstica, permitiendo diferenciar entre animales infectados crónicamente y casos activos.

La transmisión vertical, principal mecanismo de persistencia de la infección, explica la alta prevalencia en hatos donde no se implementan programas de reemplazo selectivo. Estudios longitudinales han demostrado que hasta el 95 % de las crías de vacas seropositivas pueden nacer infectadas congénitamente, perpetuando el ciclo de transmisión (Tirosh-Levy et al., 2025).

Los estudios de prevalencia no solo tienen valor epidemiológico, sino también económico. Se ha estimado que la presencia en hatos lecheros puede incrementar hasta en un 10 % las tasas de descarte de vacas y reducir significativamente la producción de leche por lactancia (Mazuz et al., 2021). Estos datos justifican la inversión en monitoreo serológico periódico, particularmente en granjas lecheras de alta producción.

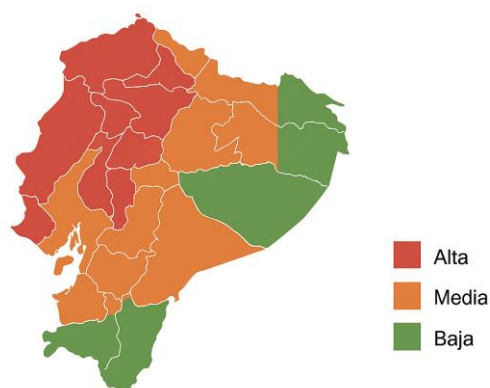


Figura 5. Distribución mundial de la Neosporosis Bovina.

Fuente: Elaboración propia con base en Nayeri et al. (2022) y Tirosh-Levy et al. (2025).

En conclusión, la prevalencia en bovinos lecheros sigue siendo elevada en muchas regiones, reflejando deficiencias en bioseguridad y control de hospedadores. El monitoreo epidemiológico, apoyado por herramientas moleculares y análisis estadístico avanzado, es esencial para mitigar su impacto en la productividad y sostenibilidad de la industria bovina global (Rimayanti et al., 2025; Zanet et al., 2023).

Tabla 2. Prevalencia de Neosporosis por provincias.

Provincia	Prevalencia serológica (%)
Pichincha	22
Tungurahua	35
Cotopaxi	30

Azuay 18

Loja 15

Imbabura 28

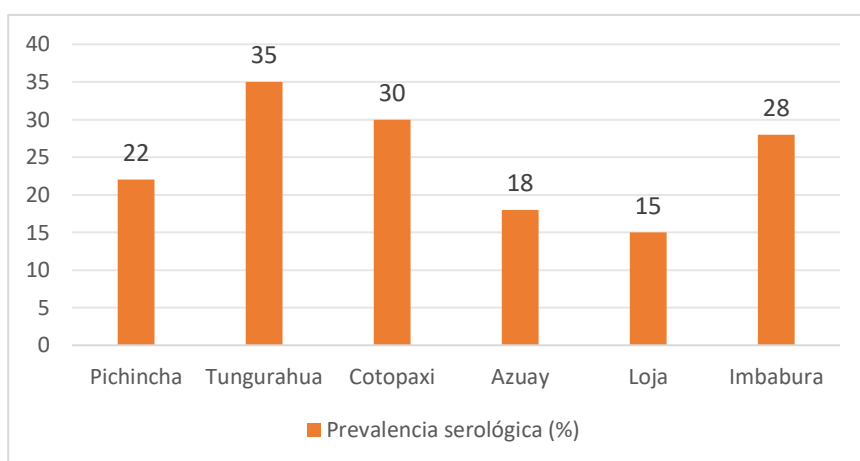


Figura 6. Prevalencia de Neosporosis por provincias.

Fuente: *Compilación a partir de Nayeri et al. (2022); Selim et al. (2023); Guerrero-Freire et al. (2024).*

CAPÍTULO III

3 LA NESOPOROSIS EN LA GANADERÍA

3.1 Influencia de la gestión del hato y la bioseguridad

La neosporosis, representa uno de los desafíos sanitarios más importantes en la ganadería bovina lechera y de carne debido a su fuerte impacto en parámetros reproductivos y económicos. Esta enfermedad, reconocida globalmente como una causa principal de abortos en bovinos, se mantiene y disemina principalmente mediante transmisión vertical, mientras que los perros y otros cánidos actúan como hospedadores definitivos y fuentes de infección horizontal (Tirosh-Levy et al., 2025). La sostenibilidad ganadera exige una integración de estrategias productivas y sanitarias que prioricen tanto la reducción de pérdidas económicas como la protección del bienestar animal y los ecosistemas. La bioseguridad y una gestión integral del hato son pilares esenciales para controlar la neosporosis y garantizar sistemas productivos resilientes.

3.1.1 Gestión integral del hato: Prevención desde la reproducción y la cría

La transmisión vertical perpetúa la infección a través de generaciones, por lo que la gestión reproductiva es crítica. Diversos estudios han demostrado que más del 60 % de las crías de vacas seropositivas nacen infectadas (Parraguez et al., 2025; Nayeri et al., 2022). La identificación y monitoreo serológico de hembras, así como la selección de reemplazos, permiten cortar esta cadena.

Prácticas recomendadas incluyen:

Reemplazo selectivo: evitar criar hembras hijas de vacas seropositivas, priorizando animales seronegativos para reposición (Tirosh-Levy et al., 2025).

Manejo reproductivo programado: utilizar inseminación artificial de hembras seropositivas para carne, limitando su reproducción en sistemas lecheros, estrategia que reduce el impacto económico (Reichel et al., 2020).

Vigilancia y registro sanitario: implementar historiales productivos y reproductivos individuales que permitan tomar decisiones basadas en datos.

El impacto económico de la neosporosis se refleja en pérdidas por aborto, reducción de producción de leche, costos veterinarios y reemplazo de hembras (Parraguez et al., 2025). Estas pérdidas justifican inversiones en programas de gestión que, a largo plazo, mejoran la rentabilidad y reducen la huella ambiental de la ganadería al optimizar recursos.

3.1.2 Bioseguridad como herramienta de control

El control de fuentes ambientales de infección es fundamental, ya que los perros pueden contaminar forrajes, agua y superficies con ooquistes de *N. caninum*. El ciclo horizontal, aunque menos frecuente que el vertical, perpetúa la enfermedad y genera brotes (Selim et al., 2023).

Medidas de bioseguridad clave:

Control de población canina: restringir el acceso de perros a instalaciones ganaderas, especialmente a corrales de maternidad y áreas de alimentación (CAPC, 2025).

Manejo de restos placentarios y fetales: eliminación segura mediante enterramiento profundo o incineración para evitar el acceso de perros y fauna silvestre (Hecker et al., 2023).

Almacenamiento de alimentos y agua: mantener insumos protegidos de contaminación fecal; uso de bebederos y comederos elevados.

Capacitación del personal: formación continua en bioseguridad, detección temprana de abortos y protocolos de respuesta.

La bioseguridad contribuye no solo al control de *N. caninum* sino también a la prevención de otras zoonosis y enfermedades reproductivas, aumentando la sostenibilidad global del sistema.

3.1.3 *Sostenibilidad ganadera y control de la neosporosis*

La sostenibilidad en la ganadería moderna abarca tres pilares: económico, ambiental y social. La gestión sanitaria para controlar la neosporosis influye en los tres:

Económico: disminuye costos por abortos, pérdidas de producción láctea y reemplazo de animales, lo que mejora la rentabilidad.

Ambiental: optimiza recursos al evitar el descarte prematuro de vacas y la sobreproducción de reemplazos, reduciendo emisiones asociadas (Parraguez et al., 2025).

Social y de bienestar animal: fomenta prácticas éticas, garantizando la salud del ganado y la inocuidad alimentaria, aumentando la confianza de consumidores.

Estudios recientes señalan que la implementación de planes de bioseguridad y control reproductivo puede reducir la prevalencia de *N. caninum* hasta en un 50 % en sistemas intensivos, lo que genera un efecto multiplicador en la eficiencia productiva (Nayeri et al., 2022).

El control efectivo de la neosporosis mediante una gestión integral del hato y medidas de bioseguridad es esencial para lograr una ganadería sostenible. La combinación de selección genética, monitoreo serológico, eliminación segura de fuentes de infección y capacitación del personal representa una estrategia costo-efectiva que protege la salud del ganado y mejora el desempeño productivo. Las inversiones en bioseguridad, aunque iniciales, ofrecen retornos significativos a través de la reducción de pérdidas, la protección ambiental y el fortalecimiento de cadenas de valor ganaderas (Tirosh-Levy et al., 2025; Hecker et al., 2023).

CAPÍTULO IV

4 FISIOPATOLOGÍA Y MANIFESTACIONES CLÍNICAS

La fisiopatología de *Neospora caninum* según (Dubey et al., 1988; Tirosch-Levy et al., 2025) al ser un protozooario o coccidio apicomplejo, constituye uno de los ejes fundamentales para entender su impacto en la producción bovina y en medicina veterinaria. Este parásito intracelular obligado mantiene un ciclo heteroxeno en el que los cánidos domésticos y silvestres actúan como hospedadores definitivos, eliminando ooquistes al ambiente. Los bovinos, como hospedadores intermediarios, desarrollan infección tras la ingestión de ooquistes esporulados, lo que da lugar a ciclos endógenos caracterizados por la proliferación de taquizoítos en tejidos y su posterior diferenciación a bradizoítos en quistes tisulares crónicos.

Desde el punto de vista fisiopatológico, la transmisión vertical es el mecanismo más relevante para la perpetuación del agente, especialmente en sistemas de producción intensiva. Durante la gestación, los taquizoítos tienen tropismo por el sistema nervioso central (SNC) y tejidos fetales, desencadenando procesos inflamatorios severos en placentomas y órganos vitales. Estudios histopatológicos muestran lesiones necrotizantes multifocales en el encéfalo, miocardio y hígado fetal, con infiltración de macrófagos y linfocitos (Nayeri et al., 2022; Hecker et al., 2023).

La respuesta inmunológica juega un papel dual: aunque la activación de linfocitos T CD4⁺ y la producción de IFN- γ controlan parcialmente la replicación del parásito, la inmunomodulación gestacional facilita la

reactivación de quistes tisulares, favoreciendo la transmisión congénita (Mukbel et al., 2024). Este fenómeno es comparable a otros coccidios como *Toxoplasma gondii*, pero en *N. caninum* presenta una mayor eficiencia vertical, con tasas superiores al 90 % en hatos infectados (Mazuz et al., 2021).

Las manifestaciones clínicas en bovinos adultos son generalmente subclínicas; sin embargo, en vacas gestantes la neosporosis se traduce en abortos esporádicos o tormentas abortivas, particularmente entre el tercer y sexto mes de gestación. Las necropsias de fetos revelan hidropesía, autólisis variable y lesiones en cerebro, médula espinal y miocardio (Reichel et al., 2020). Además, se han documentado casos de debilidad neonatal, incoordinación y mortalidad perinatal en terneros infectados (Rimayanti et al., 2025).

En perros y cánidos silvestres, el parásito puede generar signos neuromusculares severos, lo que subraya su importancia como patógeno multiespecie (Turlewicz-Podbielska et al., 2024; Zanet et al., 2023). En contraste, otros hospedadores intermediarios como ovinos y caprinos presentan abortos con menor frecuencia, pero representan reservorios epidemiológicos importantes.

Estudios moleculares recientes han identificado variaciones genéticas que modulan la virulencia del parásito. Mutaciones en genes asociados a la secreción de proteínas del complejo apical han sido relacionadas con la capacidad de invasión tisular y evasión inmune, sugiriendo diferencias de patogenicidad entre cepas (Mukbel et al., 2024).

Estos hallazgos son fundamentales para comprender por qué algunas explotaciones sufren brotes abortivos recurrentes mientras otras presentan infecciones crónicas con bajo impacto clínico.

Desde la perspectiva de salud animal, la fisiopatología de **N. caninum** resalta la necesidad de vigilancia epidemiológica constante. El diagnóstico se apoya en serología (ELISA, IFAT) para monitoreo poblacional y en PCR cuantitativa para confirmación de casos clínicos, complementado con histopatología e inmunohistoquímica (Tirosh-Levy et al., 2025).

La integración de estas herramientas permite diferenciar entre transmisión vertical endémica y exposición horizontal reciente, lo que es clave para estrategias de control.

En conclusión, el estudio fisiopatológico de *Neospora caninum* ha evolucionado significativamente en las últimas décadas gracias a avances en biología molecular, inmunología y técnicas diagnósticas. Las manifestaciones clínicas, aunque muchas veces limitadas a problemas reproductivos, tienen un impacto económico sustancial. Un enfoque multidisciplinario que combine patología, epidemiología y genética del parásito es esencial para diseñar programas de control efectivos y reducir la carga de enfermedad en bovinos lecheros y de carne (Minicucci et al., 2025).

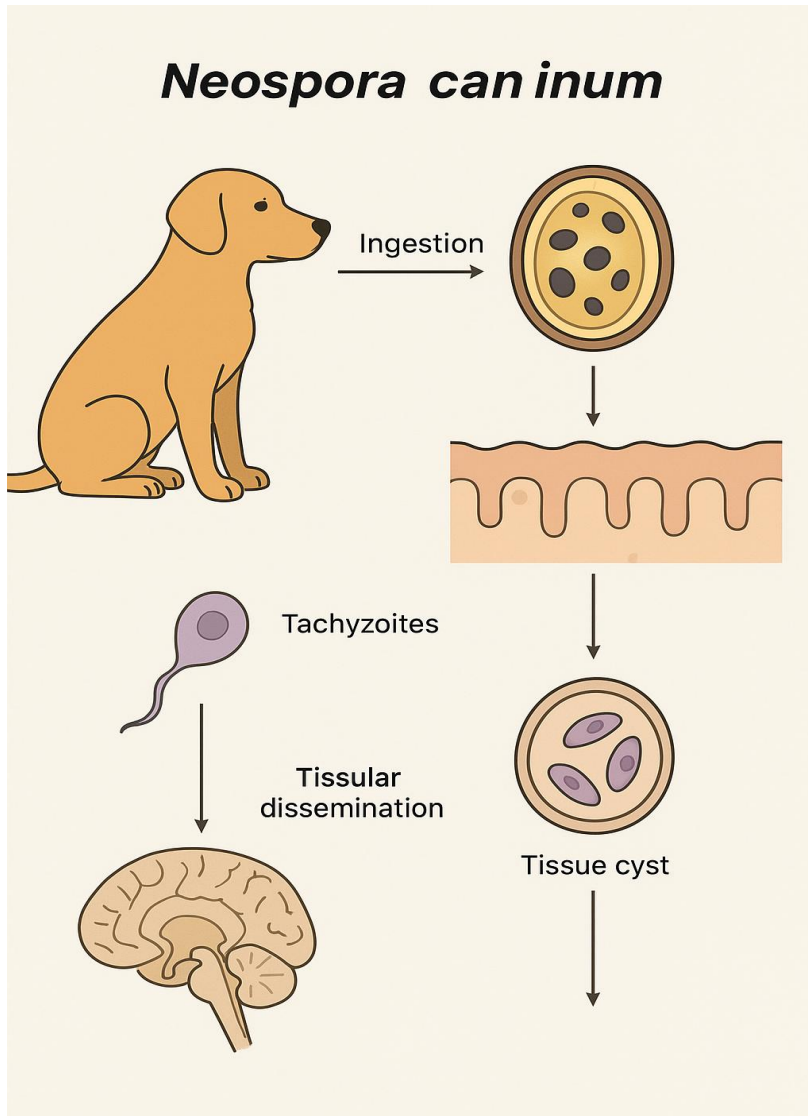


Figura 7. Patogenia del protozooario en cánidos.

Fuente: Adaptación gráfica a partir de Dubey et al. (1988), Nayeri et al. (2022), y Rimayanti et al. (2025).

Tabla 3. Signología, sustancias involucradas y órganos afectados en la neosporosis canina.

Signología	Sustancias/Fisiopatología involucradas	Órganos afectados
Debilidad muscular progresiva	Proliferación de taquizoítos; respuesta inflamatoria mediada por IFN- γ	Músculos esqueléticos
Parálisis ascendente	Lesiones neuronales; inflamación de nervios periféricos	Sistema nervioso central y periférico
Ataxia	Desmielinización parcial inducida por el parásito	Cerebelo, médula espinal
Abortos en perras gestantes	Diseminación hematógena de taquizoítos	Útero, placenta
Convulsiones	Infiltración encefálica; necrosis neuronal	Encéfalo

Fuente: Elaboración propia a partir de Dubey et al. (1988), Nayeri et al. (2022), y Rimayanti et al. (2025).

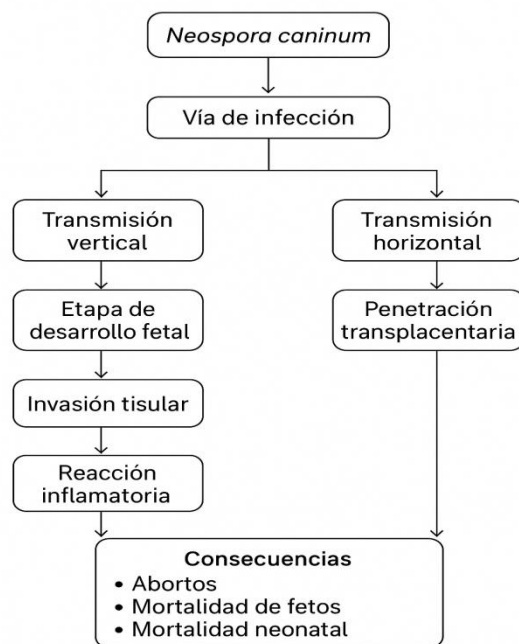


Figura 8. Patogenia del protozooario en bovinos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Dubey et al. (1988), Nayeri et al. (2022), y Rimayanti et al. (2025)

Tabla 4. Signología, sustancias involucradas y órganos afectados en la neosporosis bovina.

Signología clínica	Sustancias/Fisiopatológicamente involucradas	Órganos afectados
Abortos esporádicos o tormentas abortivas	Proliferación de taquizoítos; inflamación placentaria; respuesta inmunitaria mediada por IFN- γ	Placenta, útero
Mortalidad fetal y neonatal	Necrosis multifocal; inflamación linfocítica y macrófaga	Encéfalo fetal, corazón, hígado

Reabsorción embrionaria	Diseminación hematogena; destrucción tisular temprana	Embriones en desarrollo
Debilidad neonatal	Persistencia de infección congénita; daño neuromuscular	Músculo esquelético, sistema nervioso central
Infertilidad secundaria	Daño tisular crónico; inflamación persistente	Tracto reproductivo

Fuente: Elaboración propia a partir de Dubey et al. (1988), Nayeri et al. (2022), y Rimayanti et al. (2025).

4.1 Impacto en ternero neonatos y recría

La infección por *Neospora caninum* tiene consecuencias directas y diferidas sobre la descendencia bovina: desde reabsorciones y mummificaciones embrionarias, abortos y nacimientos de terneros no viables, hasta terneros nacidos infectados que presentan morbilidad neonatal, menor desempeño productivo y riesgos reproductivos en la recría. La transmisión vertical es el motor epidemiológico intrahato; la interacción entre la biología del parásito (taquizoíto ↔ bradizoíto), la inmunidad materno-fetal y el estado gestacional determina el desenlace clínico. Este capítulo describe en detalle la fisiopatología de cada resultado reproductivo (reabsorciones/momificaciones, mortinatos, neonatos afectados), las manifestaciones clínicas del ternero, los correlatos histopatológicos, el diagnóstico diferencial y las implicaciones para la recría y la sostenibilidad del hato, sustentado en la literatura científica reciente.

4.1.1 *Panorama clínico*

La Neosporosis es una de las principales causas infecciosas de aborto y mortalidad perinatal en bovinos. La infección se perpetúa sobre todo por transmisión transplacentaria (vertical) y, en menor grado, por ingestión ambiental de ooquistes excretados por cánidos (horizontal). La elevada eficiencia de transmisión vertical explica por qué los hatos pueden presentar una prevalencia alta y una “herencia” de la infección entre generaciones. Estas características epidemiológicas tienen un correlato clínico directo: el rango de resultados en la descendencia va desde reabsorciones tempranas hasta nacimientos de terneros clínicamente afectados o aparentemente sanos pero portadores crónicos.

4.1.2 *Clasificación de resultados reproductivos en la descendencia y su fisiopatología*

a) Reabsorciones embrionarias y momificación

Fenómeno clínico: la reabsorción embrionaria temprana y la momificación fetal son desenlaces de infecciones que ocurren en estadios muy precoces de la gestación. La reabsorción ocurre cuando la infección compromete el embrión antes de que se establezca oclusivamente la morfogénesis placentaria; la momificación se observa cuando el feto muere, pero las condiciones uterinas impiden la descomposición y expulsión.

Fisiopatología: una infección materna exógena (ingesta de ooquistes) o una recrudescencia endógena de bradizoítos puede provocar replicación de taquizoítos con parasitemia temprana. En etapas embrionarias

precoces, la respuesta inmune local y la destrucción celular por replicación parasitaria interrumpen el desarrollo placentario (carúnculas/cotiledones) y la viabilidad embrionaria. La falta de una barrera placentaria completamente funcional y la alta sensibilidad del embrión a daño celular favorecen la reabsorción o la momificación, según el tiempo de muerte fetal y las condiciones uterinas. Histológicamente se observa pérdida de tejido fetal con escasa reacción inflamatoria crónica cuando la muerte ocurrió en fases muy tempranas. Estas observaciones están documentadas en estudios experimentales y análisis patológicos.

b) Mortinatos (fetos nacidos muertos) y abortos tardíos

Fenómeno clínico: abortos entre el segundo y tercer trimestre; fetos muertos con autólisis variable; ocasionalmente partos de fetos inmaduros o mortinatos.

Fisiopatología: la infección transplacentaria en estadios de organogénesis avanzada conduce a invasión preferencial del SNC fetal y de órganos viscerales (miocardio, hígado). La migración y proliferación de taquizoítos en tejidos fetales desencadena necrosis multifocal y una respuesta inflamatoria predominantemente mononuclear (linfocitos y macrófagos) que puede comprometer funciones críticas del feto (respiratoria y cardíaca) y culminar en muerte fetal. Las lesiones placentarias —necrosis del sincitiotrofoblasto, vasculitis y daño de los cotiledones— contribuyen a la insuficiencia placentaria y al aborto. Estudios transcriptómicos del tejido placentario han mostrado alteraciones en vías inflamatorias y de respuesta inmune que correlacionan con aborto.

4.1.3 Nacidos vivos infectados (terneros neonatales) presentación clínica y fisiopatología

Fenómeno clínico: terneros nacidos vivos que pueden ser: (a) clínicamente normales pero seropositivos/portadores, (b) débiles con baja capacidad de succión, (c) neurológicos (incoordinación, ataxia) o (d) morir en el periodo neonatal por falla orgánica.

a) Fisiopatología detallada

Paso placentario y tropismo tisular: la reactivación materna o la infección aguda permite que taquizoítos atraviesen la barrera placentaria y se diseminen por hematógena hacia órganos fetales. En el feto, la inmunidad innata aún inmadura no controla la replicación, por lo que los taquizoítos tienen tropismo particular por sistema nervioso central y miocardio; allí se transforman en quistes de bradizoítos, estableciendo infección crónica.

Respuesta inmune fetal y daño tisular: la presencia de taquizoítos desencadena respuesta inflamatoria (infiltrado mononuclear, producción local de citoquinas). A diferencia de la madre, el feto no monta respuestas eficazmente reguladas: la inflamación en el SNC provoca encefalitis multifocal con necrosis, y en corazón produce miositis y focales lesiones miocárdicas que afectan la función cardíaca al nacimiento. La carga parasitaria y la etapa gestacional condicionan si el ternero nace viable, débil o muerto.

4.1.4 Manifestaciones clínicas en el ternero neonatal, cuadro clínico y correlato anatómico

a) Signos precoces (primeras 24–72 h)

Hipotonía y mala succión: consecuencia de debilidad generalizada y posible participación neuromuscular.

Letargo e incapacidad para erguirse: correlacionado con miopatías e inflamación neuromuscular.

Temblor e incoordinación: reflectan lesiones cerebelosas o encefalíticas focales.

Estas manifestaciones reflejan daño tisular inducido por la replicación parasitaria y la inflamación; la intensidad varía según la carga parasitaria y la localización de los quistes.

b) Signos neurológicos tardíos (días–semanas)

Ataxia, paresias y cambios de conciencia: en terneros que sobreviven, la presencia de quistes tisulares en el SNC puede generar signos neurológicos persistentes o progresivos.

Convulsiones (ocasionales): asociadas a necrosis cortical extensa

Los hallazgos histopatológicos típicos son encefalitis no supurativa multifocal, necrosis neuronal y presencia de taquizoítos/bradizoítos en parénquima cerebral.

4.1.5 Diagnóstico en neonatos y en fetos abortados — criterios y utilidad de cada prueba

Serología (ELISA, IFAT): útil para cribado; en neonatos puede reflejar anticuerpos maternos transferidos por calostro, por lo que la serología del ternero debe interpretarse con cautela y preferentemente combinarse con pruebas directas.

PCR / qPCR en tejidos fetales y placenta: detección directa de ADN parasitario; alta especificidad si se realiza en SNC, placenta o corazón.

Histopatología e inmunohistoquímica: muestra lesiones compatibles (necrosis multifocal, infiltrado linfohistiocítico) y permite visualizar antígenos parasitarios en lesiones. Es el estándar de referencia para atribuir causalidad en abortos.

Correlación clínica-epidemiológica: la asociación entre abortos repetidos en una línea materna y presencia de anticuerpos en la vaca madre refuerza la sospecha y la toma de decisiones (p. ej., programas de reemplazo).

4.1.6 Impacto sobre la cría (desde el nacimiento hasta la inclusión en el hato productor)

a) Tasas de infección y persistencia en cría

La proporción de terneros nacidos de vacas seropositivas que resultan infectados congénitamente puede ser alta (reportes de 60–90% en algunos hatos), lo que implica que la cría puede ser una fuente continua de animales infectados si no se aplican medidas de selección. Este patrón garantiza la persistencia intrahato de la infección a menos que se implementen programas de control adecuadamente financiados.

b) Crecimiento, conversión alimenticia y ganancia media diaria

Aunque la literatura muestra variabilidad, estudios recientes indican que los terneros congénitamente infectados pueden presentar menor ganancia de peso, mayor incidencia de enfermedades neonatales secundarias y menor conversión alimenticia, en parte por menor vigor al nacer y por efectos sistémicos inflamatorios persistentes que afectan metabolismo y apetito. Evaluaciones de estado oxidativo y marcadores inflamatorios en crías infectadas han mostrado alteraciones que se asocian a menor rendimiento productivo.

c) Mortalidad en recría y longevidad productiva

La mortalidad neonatal y en recría puede aumentar en hatos con alta prevalencia de *N. caninum*, y los animales que sobreviven, pero permanecen seropositivos tienen mayor probabilidad de abortar en su vida productiva, reduciendo su longevidad útil y aumentando costos por reemplazo. Estudios longitudinales sugieren impacto negativo sobre parámetros reproductivos de las hembras nacidas infectadas.

4.1.7 Consideraciones prácticas para el manejo de neonatos y recría

Protocolos de manejo neonatal

Evaluación inmediata del vigor y succión; rehidratación y soporte si es necesario.

Separación temporal de terneros débiles y monitoreo de glucemia y temperatura.

Recolección de muestras (sangre, aspirado de corazón/tejidos si muere) para diagnóstico confirmatorio (PCR, histopatología).

Estas medidas permiten distinguir terneros con infección sistémica activa y orientar decisiones sobre terceramiento, tratamiento sintomático o eutanasia humanitaria si procede.

4.1.8 Estrategias en recría para reducir la perpetuación intrahato

Monitoreo serológico de vacas y terneros: identificación de líneas maternas de alto riesgo.

Reemplazo selectivo: evitar criar hijas de vacas seropositivas en hatos críticamente afectados; priorizar hembras nacidas de madres seronegativas para reposición.

Control de fuentes ambientales: limitar acceso de perros a corrales, alimentación y placenta; gestionar residuos y abortos con protocolos sanitarios.

Registro y trazabilidad: mantener bases de datos de serostatus materno-filial para decisiones reproductivas.

4.1.9 Implicaciones económicas y recomendaciones de vigilancia

La combinación de abortos, mortalidad neonatal y reducción del rendimiento en recría genera pérdidas directas (pérdida de terneros, desemboque productivo) e indirectas (mayor reemplazo, menor eficiencia reproductiva). Estudios económicos recientes estiman pérdidas significativas por vaca infectada en sistemas lecheros; por ello,

la inversión en diagnóstico y manejo preventivo suele ser costo-efectiva en hatos con prevalencia moderada-alta. Las recomendaciones prioritarias incluyen programas de monitoreo (serología periódica), educación al productor, control canino y políticas de reemplazo selectivo.

La neosporosis impacta de manera directa la descendencia bovina en múltiples niveles: reabsorciones, mumificaciones, abortos, mortinatos y terneros nacidos infectados que muestran morbilidad neonatal.

La transmisión vertical es el principal factor que sostiene la infección en el hato; la carga parasitaria, la etapa gestacional y la respuesta inmune materno-fetal determinan el desenlace (feto reabsorbido, abortado o ternero infectado).

Los terneros congénitamente infectados pueden presentar menor vigor al nacimiento, signos neuromusculares y un desempeño productivo reducido durante la recría, con implicaciones económicas a mediano y largo plazo.

Los programas de control efectivos requieren integración: diagnóstico (PCR + histopatología en abortos), manejo de hospedadores definitivos (caninos), y estrategias de reemplazo y monitoreo en recría.

CAPÍTULO V

5 MANEJO SANITARIO DE LA NEOSPOROSIS

El diagnóstico de Neosporosis requiere un conocimiento importante sobre el comportamiento de la enfermedad y las probabilidades de que se pueda diagnosticar de forma oportuna y eficaz. En primer lugar, las pruebas serológicas, como ELISA o inmunofluorescencia indirecta (IFA), permiten detectar anticuerpos en suero fetal o materno con buena sensibilidad, como lo evidencian los estudios de Imhof et al. (2023).

Además, otras pruebas complementarias como, la histopatología y la inmunohistoquímica (IHC) en fetos abortados revelan inflamación no supurativa y necrosis multifocal, permitiendo identificar el parásito directamente en tejidos, tal como reportan Romero y Rojas (2020). Las técnicas moleculares, particularmente la PCR cuantitativa considerada la prueba gold standar del diagnóstico de enfermedades, aporta alta sensibilidad y especificidad, según Dubey et al. (2021), siendo especialmente útiles cuando se combinan con hallazgos serológicos. Por último, aunque el aislamiento en cultivo celular y la microscopía tienen menor sensibilidad clínica, siguen siendo valiosos en contextos epidemiológicos, como mencionan Fisher et al. (2024).

5.1 Metodología diagnóstica

La aproximación diagnóstica ante un caso de aborto bovino debe ser integral, combinando la evaluación clínica, la necropsia del feto y la placenta, y el análisis de *muestras biológicas maternas y fetales*.

5.1.1 *Evaluación clínica y antecedentes epidemiológicos*

Antes de cualquier procedimiento de laboratorio, es crucial recopilar información detallada sobre el historial del rebaño, incluyendo:

- Edad y estado productivo de las vacas afectadas.
- Número de abortos y momento de la gestación en que ocurrieron.
- Presencia de otros signos clínicos en el rebaño (por ejemplo, animales decaídos, problemas de fertilidad, terneros nacidos débiles o con malformaciones).
- Prácticas de manejo, vacunación y alimentación.
- Origen de animales nuevos introducidos al rebaño.

La observación clínica de la vaca o vaquilla que ha abortado puede ser limitada, ya que a menudo no se presentan signos claros de enfermedad antes del evento. Sin embargo, se debe evaluar su estado general, temperatura corporal y la presencia de secreciones vaginales anormales.

5.1.2 *Necropsia del feto y la placenta*

La necropsia es una herramienta diagnóstica de valor incalculable. Debe realizarse tan pronto como sea posible después del aborto, idealmente en condiciones sanitarias adecuadas para evitar la contaminación de las muestras.

a) *Examen Macroscópico:*

Feto: Se buscarán lesiones macroscópicas, que en el caso de neosporosis suelen ser inespecíficas o ausentes. Ocasionalmente, se pueden observar áreas de necrosis o hemorragia en el miocardio, músculo esquelético o cerebro. La ictericia y el edema pueden estar presentes. Es importante evaluar el estado de desarrollo del feto y la presencia de malformaciones congénitas.

Placenta: La placenta es un sitio clave de infección y daño por Neospora caninum. Se buscarán signos de placentitis, caracterizada por engrosamiento, necrosis, hemorragias petequiales o equimóticas, y la presencia de exudado purulento o caseoso, especialmente en el carúnculo y el cotiledón (Hena-Guerrero et al., 2020).

b) Toma de Muestras para Análisis Post-Mortem

Se deben recolectar muestras representativas para análisis histopatológico y molecular, preservándolas adecuadamente:

c) Tejido fetal

Cerebro: Es el órgano de elección para la detección del parásito debido a la frecuente neurotropía de *N. caninum*. Se tomarán secciones del cerebelo, cerebro y tronco encefálico.

Miocardio y Músculo Esquelético: Secciones de corazón y músculos largos.

Hígado y Riñones: Para evaluar posibles lesiones sistémicas.

Médula Ósea: Puede ser útil en algunos casos.

d) Tejido Placentario

Se tomarán muestras representativas de cotiledones y carúnculas, incluyendo áreas con lesiones macroscópicas.

Líquido Amniótico y Alantoideo: Si están disponibles y no contaminados.

Fijación: Las muestras para histopatología deben fijarse en solución de formalina tamponada al 10% (aproximadamente 10 partes de formalina por 1 de tejido).

Preservación para PCR: Tejidos frescos o congelados a -20°C o -80°C son ideales para análisis moleculares.

La selección de pruebas para estos agentes dependerá del **contexto epidemiológico** y los signos clínicos observados.

e) Pruebas Diagnósticas

Al ser la Neosporosis una infección parasitaria de distribución mundial; en ausencia de terapias efectivas y vacunas que se hayan generalizado o que tengan una eficiencia comprobada, el diagnóstico se vuelve una herramienta fundamental para el manejo de esta enfermedad. Las técnicas serológicas, especialmente ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) e IFAT (Indirect Fluorescent Antibody Test), son los métodos más usados para detectar anticuerpos en bovinos, tanto en investigación como en diagnóstico rutinario.

En los últimos años el avance que se ha dado es importante para el desarrollo de antígenos recombinantes, estudios comparativos entre

ELISA e IFAT, ajuste de valores de corte (cut-offs), pruebas en diferentes matrices (suero, leche) y estimación de prevalencias locales, lo cual permite analizar con mayor precisión la aplicabilidad práctica de estas técnicas.

5.2 Principios de ELISA e IFAT

5.2.1 IFAT

El IFAT se basa en utilizar taquizoítos de *N. caninum* fijados sobre portaobjetos, incubados con suero bovino que pueda contener anticuerpos específicos, seguido de un anticuerpo secundario anti-IgG marcado con fluoresceína. La visualización de fluorescencia permite determinar si hay unión antígeno-anticuerpo, estimando además un título (por ejemplo, diluciones 1:50, 1:100) para cuantificar la respuesta. IFAT ha sido considerado tradicionalmente como referencia o gold standar en comparaciones diagnósticas recientes, dado su buen balance entre sensibilidad y especificidad, aunque su mayor dependencia de microscopía, capacitación técnica y subjetividad de interpretación son desventajas (Yi et al., 2022).

5.2.2 ELISA

Esta prueba puede adoptar múltiples variantes de acuerdo a su aplicación: indirecto, competitivo, de inhibición, de bloque, entre otros. Utiliza antígenos que pueden ser nativos (fracciones de taquizoítos) o recombinantes (proteínas específicas como SAG1, SRS2, GRA7, MIC, etc.). Tras incubar el suero con antígeno fijado en la placa, se añade anticuerpo secundario con enzima que reacciona con sustrato para

generar señal que se cuantifica mediante absorbancia. ELISA permite procesamiento masivo, objetividad, y relativamente menor costo por muestra cuando los reactivos están bien disponibles y estandarizados (Mansilla et al., 2024).

Tabla 5. Comparación ELISA versus IFAT basada en estudios de vanguardia.				
Estudio	Antígeno(es) / Variante de ELISA	IFAT como referencia	Principales resultados (sensibilidad, especificidad, kappa, etc.)	
Udonsom et al., 2024	Proteínas recombinantes <i>NcSAG1</i> , <i>NcMIC4</i> , <i>NcPrx2</i> (ELISA indirecto)	IFAT	NcSAG1: sensibilidad 88.4 %, especificidad 80.7 %, kappa = 0.713; NcMIC4: sens 84.1 %, espec 78.9 %, kappa = 0.64; NcPrx2: buena sensibilidad (≈ 87 %) pero especificidad baja (≈ 67 %), kappa ≈ 0.558.	MDPI
Yang et al., 2022	ELISA indirecto basado en proteína quimérica <i>rSRS2-SAG1-GR47</i>	IFAT Western blot (WB)	Sensibilidad 86.7 %, especificidad 96.1 %, rate de coincidencia global con IFAT/WB 92.6 % en 81 muestras; prevalencia media en vacas abortantes ≈	

			41.64 % en China. Frontiers
Wang et al., 2020	ELISA con antígeno recombinante <i>rNcMIC26</i> <i>comparado con</i> <i>rNcSRS2</i>	IFAT	Con <i>rNcMIC26</i> , sensibilidad ≈ 76.53 %, especificidad ≈ 84.62 %; con <i>rNcSRS2</i> , sensibilidad ≈ 66.33 %, especificidad ≈ 92.31 %. Kappa de coincidencia más alto con <i>rNcMIC26</i> que con <i>rNcSRS2</i> . Frontiers
Gharekhani et al., 2023	ELISA serológica en toros (suero)	Confirmación con IFAT y métodos moleculares	Prevalencia aparente con ELISA de ≈ 3.91 %, prevalencia corregida (ajustada por sensibilidad- especificidad) ≈ 1.25 %. Demuestra la importancia del ajuste cuando prevalencia es baja. ScienceDirect

Evaluación de ELISA de leche vs suero (Fereig et al., 2024)	Uso de ELISA comercial de suero para detectar anticuerpos en leche de rumiantes, comparado con ELISA de leche específico	Alta especificidad (100 %) pero sensibilidad moderada ($\approx 61.9\%$) al usar el ELISA de suero para muestras de leche; buen valor predictivo positivo; acuerdo entre pruebas fuerte ($\text{kappa} \approx 0.70$). MDPI
	—	

5.2.3 *Ventajas y limitaciones recientes*

a) Ventajas

Antígenos recombinantes específicos: como NcSAG1, NcMIC4, NcPrx2, rSRS2-SAG1-GRA7 han permitido mejorar la especificidad y sensibilidad en sueros bovinos, disminuyendo reactividad cruzada y permitiendo estandarización.

Uso de ELISA en diferentes matrices: estudios recientes demuestran que los ELISA diseñados para suero pueden, en algunos casos, aplicarse a leche o muestras de leche, lo cual es útil para vigilancia epidemiológica y muestreo menos invasivo.

Mayor coincidencia entre pruebas: estudios comparativos muestran kappa entre 0.64 y > 0.80 en algunos casos, lo que indica buen acuerdo entre ELISA bien desarrollados y IFAT / WB.

b) Limitaciones

Especificidad variable: algunos antígenos recombinantes tienen alta sensibilidad pero especificidad baja (por ejemplo NcPrx2 con $\approx 67\%$) lo que puede generar falsos positivos si no se confirma la prueba.

Sensibilidad reducida en ciertas matrices o con ciertos antígenos: ELISA basado en suero usado en leche puede perder sensibilidad; ELISA con ciertos antígenos como rSRS2 solo puede tener baja sensibilidad comparada con IFAT.

Necesidad de ajuste de puntos de corte: los valores de corte deben validarse localmente, considerando prevalencia en la región, raza, edad, tipo de producción, etc. Algunos estudios muestran prevalencias aparentes muy diferentes una vez ajustadas por sensibilidad/especificidad.

c) Recomendaciones basadas en evidencia reciente

Validar localmente los ELISA disponibles: Antígenos, protocolos, puntos de corte deben ajustarse con muestras representativas locales para asegurar que sensibilidad y especificidad sean adecuadas para los objetivos (screening, confirmación, vigilancia).

Uso combinado de pruebas: Emplear ELISA como prueba inicial de screening; para casos de abortos, títulos bajos, muestras de matrices diferentes, usar confirmaciones con IFAT, Western blot o incluso PCR donde sea posible.

Elección de antígenos adecuados: Priorizar aquellos antígenos recombinantes que han mostrado buen desempeño (como NcSAG1, combinación quimérica rSRS2-SAG1-GRA7), e investigar

combinaciones de antígenos para mejorar detección en diferentes fases de la infección.

Atención a la matriz de la muestra: si se usan muestras de leche, validar ELISA específicos o evaluar la posibilidad de usar ELISA de suero adaptados, considerando diferencias de sensibilidad y especificidad.

Ajuste del punto de corte y análisis ROC: Utilizar análisis ROC cuando sea posible para definir el mejor compromiso entre sensibilidad y especificidad; revisar si el punto de corte actual sigue siendo válido en la población con prevalencia local. Algunos estudios muestran que prevalencia aparente cambia una vez ajustados los errores de prueba.

Control de calidad y capacitación técnica: Especial atención en la ejecución de IFAT para minimizar subjetividad, calibración de microscopios, entrenamiento del operador; para ELISA, control de lotes, uniformidad de reactivos, estándares internos y externos.

d) Desafíos y perspectivas futuras

Mejorar antígenos recombinantes que permitan distinguir infección reciente de infección crónica, incluyendo pruebas de avidez de anticuerpos.

Innovaciones en ELISA multiplex que permitan detectar anticuerpos frente a varios agentes abortivos bovinos simultáneamente, optimizando recursos.

Desarrollo de ELISA que funcionen bien en matrices alternativas (leche, cuartos mamarios, fluidos fetales) con alta sensibilidad, para facilitar muestreo y monitoreo continuo.

Estándares internacionales más firmes para ELISA e IFAT: protocolos estandarizados, paneles de referencia, intercambio entre laboratorios, certificaciones.

Integración con diagnóstico molecular e histopatológico para confirmar la etiología de abortos y para estudios epidemiológicos robustos.

Basado en la evidencia actualizada las técnicas serológicas ELISA e IFAT son aún esenciales en el diagnóstico y control de la neosporosis bovina. ELISA, especialmente con antígenos recombinantes bien seleccionados, ha demostrado sensibilidad y especificidad crecientes, adecuadas para screening en gran escala y para estudios de prevalencia. IFAT conserva su valor referencial, como partida especialmente en confirmaciones diagnósticas.

Los resultados son dependientes de la operatividad de los estudios, requiriéndose validación local, ajuste de puntos de corte, control de calidad y sobre capacitación al personal de salud y a los ganaderos para mejorar los procesos diagnósticos, el uso combinado de técnicas serológicas con métodos moleculares. Con esas medidas, se puede mejorar la precisión diagnóstica, minimizar falsos positivos/negativos y diseñar programas de control eficaces en bovinos.

5.3 Fundamentos Técnicos de la PCR y qPCR para la Detección de *N. caninum*

La Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) convencional es una técnica enzimática *in vitro* que permite amplificar exponencialmente una región específica del genoma diana, en este caso, de *N. caninum*. El proceso se basa en el uso de ciclos térmicos repetitivos de desnaturalización, alineamiento de cebadores (oligonucleótidos específicos) y extensión por una ADN polimerasa termoestable. Para *N. caninum*, las dianas genéticas más comúnmente utilizadas son el gen de la región espaciadora transcrita interna del ADN ribosómico (ITS1), el gen Nc5 (altamente repetitivo en el genoma del parásito, lo que confiere alta sensibilidad) y los genes de las proteínas de superficie como NcSAG1 o NcSRS2. La elección del gen diana es crucial, ya que debe ofrecer una especificidad suficiente para discriminar *N. caninum* de otros patógenos morfológica o serológicamente similares, como *Toxoplasma gondii* (Müller, Zimmermann, Schares, & Bärwald, 2020).

La PCR en tiempo real o cuantitativa (qPCR) representa un avance significativo sobre la PCR convencional. Esta técnica permite monitorear la acumulación de productos de PCR en tiempo real después de cada ciclo de amplificación, gracias al uso de fluoróforos. Los sistemas de detección más empleados son los colorantes intercalantes de ADN de doble cadena (ej. SYBR Green) o las sondas específicas de hidrólisis (TaqMan®). La qPCR no solo confirma la presencia del ADN del parásito, sino que también permite cuantificar la carga parasitaria en la muestra original, lo que se traduce en un valor de número de copias genómicas por cantidad de ADN total o por miligramo de tejido. Esta cuantificación objetiva ofrece un enorme potencial para estudios patogénicos, permitiendo correlacionar la carga parasitaria con la

severidad de la lesión, el riesgo de aborto o la eficacia de tratamientos o intervenciones (Almería, López-Gatius, & García-Ispuerto, 2014).

5.3.1 Aplicaciones diagnósticas y ventajas de las técnicas moleculares

La aplicación principal de la PCR/qPCR en el diagnóstico de neosporosis bovina es la confirmación etiológica en casos de aborto. El tejido de elección para el análisis es el encéfalo fetal, seguido del corazón y el hígado, ya que el parásito tiene un marcado tropismo por el sistema nervioso central. La detección del ADN de *N. caninum* en estos tejidos constituye un diagnóstico definitivo de neosporosis como causa del aborto. Es imperativo que la muestra se recolecte y preserve adecuadamente (preferiblemente congelada a -20°C o conservada en etanol absoluto) para evitar la degradación del ADN, que constituiría un falso negativo. La superior sensibilidad de la qPCR es particularmente útil en fetos autolisados, donde la carga parasitaria podría ser baja o el ADN estar parcialmente degradado (Caspe, Palarea-Albaladejo, & Chianini, 2020).

Más allá del diagnóstico de aborto, las técnicas moleculares son herramientas invaluableles en la investigación epidemiológica. Permiten detectar animales infectados de forma subclínica, incluidos aquellos con infección congénita, mediante el análisis de muestras como sangre total (detección de parasitemia intermitente), leche (en estudios de rebaño) o fluidos corporales. La qPCR, al proporcionar datos cuantitativos, ayuda a entender la dinámica de la infección, como los picos de parasitemia relacionados con la gestación o la inmunosupresión. Además, estas

técnicas son esenciales para la tipificación genética de aislados de *N. caninum*, lo que facilita estudios de diversidad genética y trazabilidad de brotes, identificando posibles fuentes de infección y vías de transmisión (Zamperone, 2021).

a) Ventajas

Alta Sensibilidad y Especificidad: Capaces de detectar cantidades mínimas de ADN parásito de forma específica.

Diagnóstico Precoz: Pueden detectar la infección antes de que se desarrollen una respuesta serológica detectable o signos clínicos.

Rapidez: Una vez estandarizado, el proceso desde la extracción de ADN hasta el resultado puede completarse en un solo día.

Cuantificación Objetiva (qPCR): Proporciona datos numéricos reproducibles que pueden correlacionarse con outcomes clínicos.

Aplicable a Múltiples Matrices: Tejidos, sangre, leche, fluidos fetales; entre otros

b) Limitaciones y consideraciones técnicas

A pesar de su poder diagnóstico, las técnicas de PCR no están exentas de limitaciones. El riesgo más significativo es la contaminación cruzada entre muestras, ya que la técnica amplifica indiscriminadamente cualquier molécula de ADN diana presente en el tubo de reacción. Esto hace imperativo el establecimiento de estrictos protocolos de separación física de las áreas pre-PCR (preparación de mezclas), PCR (amplificación) y post-PCR (análisis de productos), junto con el uso de

controles negativos múltiples (de extracción y de amplificación) en cada ejecución. Otra limitación importante es la incapacidad de la PCR estándar para diferenciar entre parásitos viables y no viables, ya que detecta ADN que puede persistir después de la muerte del parásito (Mackay, 2004).

La obtención de un resultado fiable depende en gran medida de la calidad y cantidad del ADN extraído de la muestra. Tejidos con alto grado de autólisis o muestras mal preservadas pueden dar lugar a resultados falsos negativos. Para controlar esto, es mandatorio incluir un control interno endógeno en cada reacción (por ejemplo, amplificando un gen bovino constitutivo como la β -actina) para verificar que el ADN es amplificable y que no existen inhibidores de la polimerasa en el extracto. La elección de los cebadores y las condiciones de ciclado (temperatura de alineamiento, número de ciclos) debe ser optimizada y validada para el laboratorio y el tipo de muestra específicos. La interpretación de los resultados, especialmente de la PCR convencional, debe ser realizada por personal calificado, considerando siempre el contexto clínico-epidemiológico y los hallazgos serológicos e histopatológicos (Bustin et al., 2009).

El diagnóstico definitivo de esta patología, particularmente en casos de aborto, debe adoptar un enfoque integrado. Ninguna técnica por sí sola es infalible. La combinación de la histopatología (detección de lesiones características como necrosis no supurativa y gliosis en el encéfalo fetal), la inmunohistoquímica (detección de antígenos parasitarios *in situ*) y la PCR/qPCR (detección molecular del patógeno) constituye el gold standard. La serología, tanto en la madre como en el feto (fluidos

torácicos o pericárdicos), proporciona información valiosa sobre el estado inmunológico y ayuda a interpretar los hallazgos moleculares (Dubey et al., 2007).

En conclusión, las herramientas moleculares, en particular la qPCR, han revolucionado el diagnóstico y la investigación de la neosporosis bovina. Su excepcional sensibilidad, especificidad y capacidad de cuantificación las convierten en instrumentos indispensables para la confirmación etiológica de abortos, la identificación de portadores subclínicos y la investigación de la dinámica de la infección. Sin embargo, su implementación debe realizarse con rigor técnico, siendo conscientes de sus limitaciones y de la critical necesidad de integrar sus resultados con los de otras disciplinas diagnósticas. El uso juicioso de estas poderosas herramientas permitirá a los veterinarios e investigadores avanzar en el control de esta devastadora enfermedad, mitigando su impacto económico en la ganadería mundial.

5.4 Estrategias de control y manejo sanitario

5.4.1 Bioseguridad y control de vectores

La bioseguridad y el control de vectores son componentes esenciales de los programas integrales para la prevención y manejo de *Neospora caninum* en la ganadería bovina. Este apartado del libro revisa de manera detallada y ampliada las medidas de bioseguridad aplicadas en sistemas de producción lechera y de carne, con énfasis en la gestión de cánidos como hospedadores definitivos y otros factores de riesgo epidemiológico. Además, se discuten estrategias de vigilancia,

diagnóstico y educación sanitaria que fortalecen la sostenibilidad de los hatos ganaderos.

La neosporosis reconocida como una de las principales causas infecciosas de aborto bovino en el mundo (Dubey et al., 1988; Nayeri et al., 2022); así como la importancia de los perros domésticos y silvestres como hospedadores definitivos conocidos que desempeñan un papel fundamental en la perpetuación del ciclo del parásito mediante la excreción de ooquistes viables en sus heces (Tirosh-Levy et al., 2025). Estos ooquistes contaminan agua, forraje y suelos, representando el principal riesgo de infección horizontal en bovinos, mientras que la transmisión vertical mantiene la infección en hatos durante generaciones.

La bioseguridad, entendida como el conjunto de medidas para prevenir la introducción y difusión de agentes infecciosos, es clave en el control de la neosporosis, especialmente en sistemas de producción intensivos y semi-intensivos donde las pérdidas por aborto pueden alcanzar hasta el 20 % anual (Parraguez et al., 2025).

5.5 Principios de bioseguridad en el control de la neosporosis

5.5.1 *Bioseguridad externa*

La bioseguridad externa se enfoca en prevenir la introducción del parásito en el hato:

Control de ingreso de animales: Realizar pruebas serológicas previas a la compra o introducción de bovinos, para evitar la incorporación de hembras infectadas que perpetúen la transmisión vertical (Nayeri et al., 2022).

Manejo de perros externos: Limitar el acceso de perros de comunidades vecinas o de áreas de pastoreo comunes, ya que estos pueden excretar ooquistes tras consumir restos placentarios (Reichel et al., 2020).

Monitoreo de fuentes de alimento y agua: Proteger los suministros para evitar contaminación fecal; utilizar bebederos elevados y almacenamiento cerrado de forraje (Selim et al., 2023).

5.5.2 *Bioseguridad interna*

Se refiere a la contención y manejo dentro del hato para minimizar la diseminación del parásito:

Manejo seguro de abortos y placentas: Retirar y desechar restos fetales y placentas mediante entierro profundo o incineración (CAPC, 2025).

Zonas exclusivas de maternidad: Crear corrales higiénicos para partos y aislamiento temporal de hembras seropositivas, reduciendo el contacto con perros.

Limpieza y desinfección: Uso rutinario de desinfectantes efectivos (amonio cuaternario, clorados) para limpiar corrales y equipos, aunque los ooquistes son resistentes, lo que resalta la importancia de evitar la contaminación inicial (Dubey et al., 1988).



Figura 9. Bioseguridad y control de la Neosporosis.

Fuente: Elaboración propia con base en CAPC (2025) y Tirosh-Levy et al. (2025).

5.6 Vectores y hospedadores definitivos

5.6.1 Perros domésticos (*Canis lupus familiaris*)

Los perros son el principal hospedador definitivo de *N. caninum*. Tras ingerir tejidos infectados, excretan millones de ooquistes resistentes en sus heces (Tirosh-Levy et al., 2025). Factores de riesgo:

Acceso libre a potreros y restos placentarios.

Alta densidad de perros en comunidades rurales.

Falta de desparasitación y control poblacional.

a) *Fauna silvestre*

Estudios han identificado cánidos silvestres, como coyotes y lobos, como hospedadores definitivos adicionales (Zanet et al., 2023). Su control es complejo, por lo que se enfatizan medidas de bioseguridad ambiental, como el cercado de áreas críticas y el manejo de residuos ganaderos.

b) Vectores mecánicos

Aunque no son vectores biológicos, aves carroñeras, roedores y algunos insectos pueden actuar como vectores mecánicos al trasladar restos contaminados entre áreas. La gestión integral de plagas contribuye a limitar este riesgo (Hecker et al., 2023).

c) Estrategias específicas de control de vectores

Manejo poblacional de perros

Campañas comunitarias de esterilización y vacunación.

Educación a productores sobre evitar que perros consuman restos de partos.

Restricción de movimiento de perros dentro de instalaciones críticas.

Gestión de residuos

La placenta y fetos abortados son una fuente crítica de infección para perros. El entierro profundo (>1,5 m) y la incineración son métodos efectivos (CAPC, 2025). Sistemas de biodigestión también son alternativas sostenibles para el tratamiento de residuos.

d) Control de fauna silvestre

Aunque no siempre viable erradicar especies silvestres, la colocación de cercas eléctricas y el manejo de corrales reduce la exposición. Programas de monitoreo de vida silvestre ayudan a comprender su papel epidemiológico (Zanet et al., 2023).

e) Tratamiento Farmacológico

El tratamiento varía según el hospedador. En perros, la terapia estándar incluye clindamicina (12,5–25 mg/kg cada 12 h), sola o combinada con trimetoprim-sulfadiazina y pirimetamina, durante un mínimo de cuatro semanas. Esta estrategia ha demostrado resultados variables, particularmente si no se inicia en etapas tempranas de la enfermedad, como lo indican Fisher et al. (2024).

En el tratamiento de neosporosis en bovinos se han utilizado fármacos como toltrazuril o ponazuril ha mostrado reducir significativamente la tasa de aborto y la seroprevalencia en estudios de campo; Cuteri et al. (2022) reportan una disminución de 188 a 9 casos por 936 vacas tratadas. Imhof et al. (2023) también destacan el uso experimental de monensina en la prevención de la transmisión vertical. Sin embargo, el tratamiento presenta limitaciones prácticas en ganado de producción debido a la posibilidad de residuos en leche o carne. Además, tanto en perros como en bovinos, el tratamiento no elimina por completo los quistes tisulares, como concluyen Dubey et al. (2021).

En perros, la terapia estándar incluye clindamicina (12,5–25 mg/kg cada 12 h), sola o combinada con trimetoprim-sulfadiazina y pirimetamina,

durante un mínimo de cuatro semanas. Esta estrategia ha demostrado resultados variables, particularmente si no se inicia en etapas tempranas de la enfermedad, como lo indican Fisher et al. (2024).

Uno de los puntos clave es tratar la patología en la fuente de contagio y los portadores; pero además deben incluirse estrategias de manejo de potreros y control sanitario estricto de los caninos en los hatos ganaderos.

La productividad esta estrechamente ligada al conocimiento, manejo, control y reducción de los factores de riesgo que se diversifican de acuerdo con las condiciones ambientales, el sistema de crianza, la tecnificación y aplicación de normas sanitarias periódicas.

f) Vigilancia epidemiológica y diagnóstico preventivo

El diagnóstico rutinario mediante pruebas serológicas y moleculares (PCR) permite identificar hembras infectadas y diseñar programas de reemplazo selectivo (Horcajo et al., 2023). Estos programas han demostrado disminuir significativamente las tasas de aborto y reducir la presión de infección.

La vigilancia debe incluir:

Seroprevalencia del hato: Identificar líneas maternas de mayor riesgo.

Registro de abortos: Integrar datos en software ganadero para correlacionar con el estatus sanitario.

Trazabilidad: Identificación individual de animales positivos y seguimiento de su descendencia.

5.7 Bioseguridad y sostenibilidad

Las prácticas de bioseguridad contribuyen a la reducción directa de la incidencia y prevalencia de la neosporosis y además a fortalecer puntos de vital importancia como:

Mejorar la rentabilidad: Reducción de abortos, pérdidas reproductivas y costos de reemplazo.

Optimizar el uso de recursos: Menor necesidad de reposición, reduciendo emisiones de carbono asociadas a la crianza de animales adicionales (Parraguez et al., 2025).

Bienestar animal y salud pública: Fomento de prácticas que protegen la salud de los animales, reducen riesgos zoonóticos indirectos y mejoran la percepción del consumidor.

La bioseguridad y el control de vectores son pilares en el manejo integral de la neosporosis. Estrategias como el manejo adecuado de restos placentarios, la educación comunitaria, la trazabilidad animal y el control de la fauna doméstica y silvestre tienen un impacto directo en la sostenibilidad económica y ambiental de la producción ganadera. Su implementación requiere inversión inicial, pero el retorno en salud animal, productividad y reducción de pérdidas es significativo, consolidando la ganadería como una actividad competitiva y responsable.

5.8 Selección genética y programas de reemplazo

5.8.1 Selección genética y reemplazo estratégico

La neosporosis se mantiene en los hatos fundamentalmente por transmisión transplacentaria de madre a cría; por tanto, los programas basados únicamente en bioseguridad ambiental (control de perros, eliminación de placentas) tienen impacto pero no eliminan la infección endémica en líneas maternas afectadas. La selección genética y el reemplazo de hembras infectadas o de alto riesgo ofrecen una vía para reducir la proporción de animales que transmiten la infección a la siguiente generación y, con ello, disminuir la prevalencia a mediano y largo plazo (Liu, 2020; Dinon, 2024). Estos enfoques no son excluyentes de otras medidas (vacunación experimental, manejo de perros), sino complementarios. (Liu et al., 2020; Dinon, 2024).

5.9 Fundamentos genéticos: Posible resistencia genética a *N. caninum*

5.9.1 *Visión general*

La literatura reciente muestra indicios de variación genética en la respuesta del hospedador frente a *N. caninum*. Hay estudios experimentales y de campo que describen diferencias de susceptibilidad entre razas y familias: algunas razas y líneas parecen montar respuestas celulares (Th1 mediada por IFN- γ) más eficaces, lo que reduce la parasitemia y la probabilidad de transmisión vertical. Sin embargo, la información sobre la magnitud de la heredabilidad es todavía limitada y heterogénea; la mayoría de los trabajos recomiendan cautela antes de proponer índices de selección específicos (Dinon, 2024; Fiorani et al., 2024). (Dinon, 2024; Fiorani, 2024).

5.9.2 *Heredabilidad e implicaciones prácticas*

Las estimaciones de heredabilidad publicadas para resistencia a infecciones reproductivas similares suelen ser bajas a moderadas, lo que implica que la selección genética puede producir mejoras, pero de manera gradual y en combinación con otros manejos. Los autores recomiendan comenzar por incorporar el estatus serológico y el historial reproductivo en las bases de datos genéticas del hato (p. ej. añadir como indicador binario «madre responsable de >1 aborto por neosporosis») para que las evaluaciones genómicas futuras puedan extraer señales sobre loci responsables. Estudios de modelo sugieren que la combinación de test-and-cull con selección genética mejora la reducción de prevalencia respecto a cualquiera de las medidas por separado (Liu et al., 2020).

5.9.3 *Marcadores genómicos y herramientas modernas*

Estudios de asociación y paneles SNP (*Single Nucleotide Polymorphism* - Polimorfismo de nucleótido único)

El advenimiento de genotipado masivo (SNP arrays) permite buscar regiones del genoma (QTLs) asociadas a resistencia. Revisiones recientes recogen hallazgos preliminares de loci ligados a respuestas inmunes (genes de la vía IFN, MHC y genes inflamatorios), pero no existe aún un panel validado universal para contacto rutinario en hatos comerciales (Dinon, 2024). Por tanto, la recomendación actual es participar en redes de investigación o programas de mejoramiento que integren datos fenotípicos (abortos, serología) y genotípicos para poder desarrollar evaluaciones genómicas locales.

5.9.4 *Genómica aplicada en la práctica del productor*

Ruta práctica a seguir para el productor

Registrar el estatus serológico y reproductivo individual.

Colaborar con laboratorios y centros de investigación para añadir genotipado a reproductores clave.

Participar en programas nacionales de mejoramiento (si existen) que consideren resiliencia sanitaria como criterio adicional.

5.9.5 *Diseño de programas de reemplazo en hatos con prevalencia*

Principios generales

Un programa de reemplazo bien diseñado debe: (1) reducir la entrada de hembras portadoras en la población reproductora; (2) mantener la productividad y la estructura etaria; (3) ser financieramente viable. En hatos con alta prevalencia de *N. caninum*, la estrategia clásica es reemplazo selectivo —no eliminación masiva— orientada a evitar criar hijas de vacas seropositivas de alto riesgo (Tirosh-Levy et al., 2025).

Criterios de selección para reemplazo

Estatus serológico de la madre: priorizar hijas nacidas de madres seronegativas para reposición.

Historial de abortos de la línea materna: descartar o destinar a sistemas no reproductivos a hembras con >1 aborto confirmado por *N. caninum*.

Rendimiento productivo: balancear riesgo sanitario con capacidad productiva; en hatos pequeños, excluir excesivamente puede dañar la economía.

Edad y coste de reemplazo: calcular el punto de equilibrio económico (costo de mantener animal para reposición vs. costo de reemplazo externo).

5.9.6 *Protocolos recomendados*

Programa A (hato con prevalencia baja-moderada, <20 %): realizar serología anual; aceptar hasta X% de hijas de madres seropositivas si la línea productiva es excelente; sustituir solo madres con abortos confirmados.

Programa B (hato con prevalencia alta, >30 %): implementar cría de reemplazo exclusivamente con hijas de madres seronegativas y/o comprar novillas de hatos certificados; combinar con test-and-cull de hembras con abortos repetidos y registro exigente.

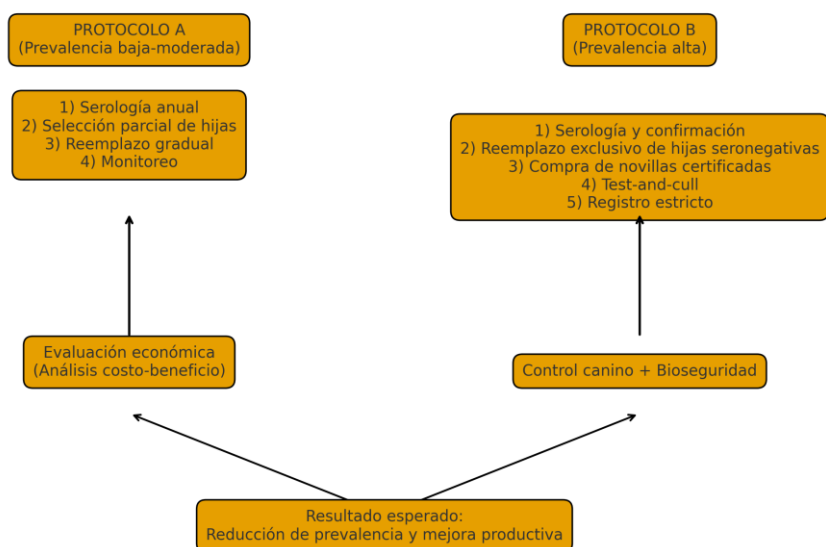


Figura 10. Esquema de protocolos reproductivos (Protocolo A y Protocolo B).

5.10 Modelos económicos: coste-beneficio del reemplazo selectivo versus test-and-cull

Diversos estudios de modelado muestran que test-and-cull (diagnosticar y eliminar vacas infectadas) puede reducir rápidamente la prevalencia pero resulta costoso en hatos con alta prevalencia por el número de animales a eliminar; por el contrario, reemplazo selectivo con selección de hijas reduce la prevalencia más lentamente pero con menor impacto económico inicial (Liu et al., 2020; Modelling studies, 2021). En la práctica, la estrategia óptima es mixta: test-and-cull de hembras con abortos repetidos + reemplazo selectivo de reposición en conjunto con bioseguridad estricta; esto se resumiría en el principio de selección negativa de una población con fines de mejora a priorizadas, quizá con

tasas de descarte que puedan ser elevadas que se justificarían en el tiempo y con resultados sanitarios prometedores que estabilicen la evolución del hato.

En el contexto ecuatoriano (sistemas familiares y hatos medianos), los costos de compra externa de novillas y la disponibilidad de hatos «certificados» pueden ser limitantes; por ello es crítico priorizar la selección local basada en datos y programas de extensión que apoyen al productor para evaluar el trade-off económico (compensación o sacrificio entre dos opciones). Estudios regionales en Ecuador (Tungurahua/Cotopaxi) han reportado prevalencias significativas y asociaciones entre aborto y seropositividad, lo que hace aún más relevante la planificación económica del reemplazo (Guerrero-Freire et al., 2024; estudio de la sierra ecuatoriana). (Guerrero-Freire et al., 2024).

5.11 Adaptación al contexto Ecuador: recomendaciones específicas basadas en datos

a) Situación en Ecuador

Estudios locales en la Sierra ecuatoriana han documentado seroprevalencias en rangos que explican pérdida reproductiva relevante (ej., estudios en Tungurahua y Cotopaxi y la sierra sur que reportan prevalencias entre ~20–40 % en hatos seleccionados) y una relación estadística entre abortos y seropositividad (estudios de campo y tesis universitarias locales). Estos hallazgos implican que muchas lecherías ecuatorianas requieren estrategias de reemplazo diseñadas para: (1) limitar el ingreso de hijas de líneas infectadas; (2) fortalecer bancas de novillas seronegativas; y (3) combinar con campañas comunitarias de

control canino (Guerrero-Freire et al., 2024; estudio Sierra, 2023).
(Guerrero-Freire et al., 2024; estudio local).

b) Recomendaciones prácticas para productores ecuatorianos

Registro sanitario obligatorio: crear fichas por animal que integren serología anual, abortos y rendimiento.

Cría local de reemplazos seronegativos: planificar lotes de recría separados por estatus serológico para evitar mezcla.

Cooperativas y compra agrupada: los pequeños productores pueden agruparse para comprar novillas certificadas y compartir infraestructura de recría.

Capacitación y extensión: difundir protocolos de muestreo y criterios de selección en universidades y ministerios de agricultura.

Integración de genómica a mediano plazo: promover proyectos de investigación en colaboración universidad–productor para generar paneles genéticos locales que identifiquen marcadores de resistencia.

c) Limitaciones, riesgos y consideraciones éticas

Limitaciones científicas: la evidencia sobre variantes genéticas de resistencia aún es preliminar y heterogénea; no existe un índice genómico universalmente validado. Seleccionar solo por «seronegatividad» puede reducir la diversidad genética si no se maneja cuidadosamente. (Dinon, 2024).

Riesgos económicos y sociales: programas de reemplazo agresivos sin apoyo financiero pueden empobrecer a pequeños productores. Es necesario diseñar planes con subsidios o mecanismos de crédito rural.

Consideraciones éticas: la eliminación masiva de hembras debe manejarse con criterios claros y respeto por bienestar; se sugiere priorizar alternativas menos disruptivas para productores familiares.

d) Propuesta de modelo operativo

Diagnóstico del hato: seroprevalencia, tasa de aborto por línea, registro productivo. (Mes 0).

Segmentación de hatos: dividir animales por estatus y destino (reposición, producción, descarte).

Política de reemplazo: definir umbrales (ej.: no criar hijas de madres con >1 aborto confirmado).

Plan económico: análisis de flujo de caja a 3–5 años, evaluación de compras externas si necesario.

Monitoreo: serología anual y auditoría semestral del plan.

Revisión y ajuste: usando datos recopilados, considerar incorporación de pruebas genómicas a los reproductores clave a los 2–4 años.

La selección genética y los programas de reemplazo constituyen herramientas estratégicas y necesarias en hatos con prevalencia de *N. caninum*, especialmente cuando la transmisión vertical es la fuerza principal que sustenta la infección.

La evidencia sugiere que la selección puede contribuir a la reducción de prevalencia y mejorar la resiliencia, pero su efecto es gradual y requiere integración con bioseguridad, manejo reproductivo y, cuando sea posible, herramientas genómicas. (Dinon, 2024; Liu et al., 2020).

En Ecuador, dada la prevalencia registrada en estudios locales, la prioridad práctica es fortalecer registros, diseñar programas de reemplazo adaptados a la realidad económica de los productores y promover esquemas colaborativos para la adquisición de reemplazos seronegativos y la investigación genómica local.

e) Prácticas de manejo reproductivo

La eficiencia reproductiva constituye la columna vertebral de la rentabilidad en sistemas lecheros y de carne. Las prácticas de manejo reproductivo adecuadas no solo optimizan la producción, sino que también modulan la aparición y el impacto de enfermedades reproductivas, entre ellas la neosporosis causada por *Neospora caninum* (Nayeri et al., 2022; Selim et al., 2023).

f) Intervenciones periparto y postparto

El periodo periparto es crítico: la recuperación uterina, el control de infecciones y la correcta nutrición influyen en la reanudación de ciclos ováricos y en la calidad de los óvulos subsecuentes. Protocolos de soporte nutricional y manejo del balance energético reducen el anestro postparto y mejoran respuesta a sincronización (Consentini et al., 2021).

g) Sincronización y IATF

Protocolos como Ovsynch y Double-Ovsynch han demostrado mejorar la tasa de servicio y permitir programación de inseminaciones. En vacas lactantes, los programas de IATF, combinados con monitoreo de condición corporal, aumentan la tasa de preñez y reducen intervalos abiertos (Consentini et al., 2021; Pérez et al., 2020).

h) Monitoreo tecnológico

El uso de monitores de actividad y sensores de comportamiento ha demostrado mejoras en la detección de celo y en la programación de inseminaciones, reduciendo la dependencia exclusiva de TAI (Obšteter et al., 2021).

i) Manejo de la recria

La recria influye en la edad al primer parto y en la vida productiva del animal. Protocolos que optimicen ganancia de peso, manejo sanitario y momento de la primera inseminación tienen impacto directo en la eficiencia reproductiva del hato. En contextos de neosporosis, la recria debe producir reemplazos seronegativos y mantener lotes separados según estatus serológico (Tirosh-Levy et al., 2025).

j) Diagnóstico y manejo de hembras de alto riesgo

La identificación de hembras con historial de abortos o con serología positiva permite aplicar estrategias como test-and-cull, manejo diferenciado o uso de técnicas reproductivas alternativas. La confirmación por PCR y la histopatología ayudan a atribuir causalidad

antes de tomar decisiones de eliminación (Gual et al., 2022; Selim et al., 2023).

k) Selección y reemplazo

Los criterios para seleccionar reemplazos deben combinar estatus sanitario, mérito productivo y rasgos reproductivos. La selección genética y el uso de información genómica (paneles SNP) facilitan la elección de animales con mejor potencial reproductivo (Obšteter et al., 2021).

l) Protocolos adaptados

Hato con prevalencia baja-moderada (<20 %): combinar TAI selectivo con monitoreo serológico anual; aceptar hijas de madres seropositivas solo si la línea productiva es excelente; focalizar test-and-cull en hembras con abortos confirmados (Liu et al., 2020).

Hato con prevalencia alta (>30 %): priorizar reemplazo exclusivo de hijas seronegativas, compra de novillas certificadas y protocolos intensivos de bioseguridad y control canino (Tirosh-Levy et al., 2025).

m) Evaluación económica y extensionismo

La evaluación económica del programa reproductivo debe considerar costos de diagnóstico, pérdida por aborto, costos de reemplazo y mejora productiva esperada. Modelos muestran que una estrategia mixta suele ser la más costo-efectiva (Liu et al., 2020; Parraguez et al., 2025).

5.12 Avances en investigación y perspectivas futuras

Los avances en secuenciación de nueva generación (NGS) y transcriptómica han permitido identificar genes asociados a la virulencia, invasión celular y evasión inmune de *N. caninum*. El parásito presenta un genoma nuclear de aproximadamente 63 Mb, con similitudes estructurales con *Toxoplasma gondii*, pero con genes exclusivos implicados en tropismo tisular y capacidad abortiva (Reichel et al., 2020).

Estudios recientes destacan:

Proteínas de superficie (SAGs) y factores de secreción (ROPs y GRAs): esenciales para el establecimiento de la infección y potenciales blancos vacunales (Dinon, 2024).

Diversidad genética: variaciones entre cepas explican diferencias en virulencia y transmisión vertical, lo que subraya la necesidad de vacunas multicepa (Benítez-Crespo et al., 2022).

Marcadores genéticos: uso de paneles SNP y análisis de QTLs que relacionan la respuesta inmune del hospedador con la resistencia a la infección (Obšteter et al., 2021).

5.12.1 Desarrollo de vacunas

a) Vacunas vivas atenuadas

La cepa Nc-Nowra y mutantes de Nc-1 han mostrado eficacia en modelos murinos y ovinos, logrando reducciones significativas en

transmisión vertical (Rojo-Montejo et al., 2022). Sin embargo, su uso en bovinos es limitado por:

Riesgo de revertir virulencia.

Complejidad logística y bioseguridad en sistemas productivos.

b) Vacunas inactivadas

Han demostrado seguridad, pero su eficacia en la prevención de abortos es variable. La inmunogenicidad depende de la combinación de adyuvantes, la dosis y el momento de administración (Reichel et al., 2020).

c) Vacunas recombinantes y de subunidades

Las investigaciones se centran en antígenos de superficie como NcSRS2, ROP18 y GRA7. Estudios recientes indican que combinaciones multicomponente pueden inducir respuestas Th1 robustas (Li et al., 2023).

d) Vacunas de ADN y ARNm

Inspiradas en el éxito de vacunas contra SARS-CoV-2, plataformas de ARNm están en fase experimental para *N. caninum*, mostrando resultados prometedores en modelos animales (Fiorani et al., 2024).

5.12.2 Nuevas terapias antiparasitarias

El tratamiento de la neosporosis bovina sigue siendo un reto, ya que los medicamentos tradicionales como toltrazuril y sulfonamidas muestran

eficacia limitada y no previenen transmisión vertical. Investigaciones recientes evalúan:

Inhibidores de quinasa dependiente de calcio: moléculas como BKI-1294 han mostrado reducción de la parasitemia in vitro (Winzer et al., 2022).

Nanotecnología: uso de nanopartículas lipídicas para mejorar la biodisponibilidad de antiparasitarios, con resultados alentadores en modelos ovinos (Rahman et al., 2023).

Terapia combinada: integración de medicamentos convencionales con inmunomoduladores para potenciar la respuesta celular.

5.12.3 Innovaciones en control y manejo sanitario

Las estrategias de control evolucionan hacia sistemas integrales de bioseguridad, que combinan tecnologías digitales, genómica e inteligencia artificial:

Trazabilidad digital y sensores IoT: monitorean actividad de vacas, consumo de alimento y parámetros fisiológicos para detectar signos de aborto precoz.

Selección genética: incorporación de paneles SNP y evaluación genómica de resistencia a enfermedades reproductivas (Obšteter et al., 2021).

Modelos epidemiológicos predictivos: simulan impacto económico y eficacia de medidas de control, optimizando decisiones.

Control de reservorios: programas comunitarios para el manejo poblacional de perros rurales, reservorios clave de ooquistes (Guerrero-Freire et al., 2024).

El control de la neosporosis bovina requiere enfoques multidisciplinarios:

Integrar biotecnología (vacunas recombinantes y terapia génica) con manejo reproductivo y bioseguridad.

Desarrollar programas de vigilancia molecular que detecten variabilidad genética y cepas hipervirulentas.

Fomentar la colaboración público-privada para comercializar vacunas seguras y costo-efectivas.

Potenciar la formación de veterinarios e investigadores en parasitología molecular y epidemiología digital.

La investigación sobre *Neospora caninum* ha avanzado significativamente en la última década, gracias al progreso en genómica, inmunología y tecnologías diagnósticas. No obstante, persisten desafíos en la implementación de vacunas y terapias efectivas en campo. La integración de estrategias innovadoras —como vacunación multicomponente, diagnóstico portátil y programas de selección genética— ofrece una oportunidad única para reducir la carga de esta enfermedad en la industria bovina global, mejorando la rentabilidad, la sostenibilidad productiva y el bienestar animal.

a) *Limitaciones*

La principal limitación es el ingreso de los investigadores y trabajadores de campo a los predios para la recolección de datos y toma de muestras; debido a que los ganaderos son renuentes en su mayoría a procesos que pudieran generar controversia con entidades gubernamentales y los pobladores, sobre todo con enfermedad que es de reporte obligatorio.

Con respecto a las limitaciones metodológicas que deben considerarse: El diseño transversal no permite establecer causalidad directa entre *Neospora caninum* y la reducción productiva, requiriéndose estudios longitudinales para evaluar la dinámica temporal de la infección.

La ausencia de datos moleculares (PCR) limita la diferenciación entre infección activa y exposición histórica al parásito; no todos los laboratorios acreditados cuentan con la tecnologías para refutar un prueba con otra y establecer condiciones de sensibilidad y especificidad de las mismas.

b) *Nuevas líneas de investigación*

Evaluación de Estrategias de Control Integral para *Neospora caninum* en Sistemas Lecheros de Tungurahua: Un Enfoque Una Salud.

Diseño de un Sistema de Alerta Temprana para Pérdidas Productivas por Enfermedades Subclínicas en Bovinos Lecheros.

5.13 Interacción entre infección y productividad lechera

5.13.1 La Neosporosis como un Problema de Gestión y Rentabilidad

Desde el punto de vista de la producción bovina, la neosporosis debe ser entendida fundamentalmente como una patología que deteriora la eficiencia reproductiva, el principal motor económico de cualquier sistema de carne o leche. La rentabilidad de una explotación ganadera depende críticamente de maximizar el número de terneros o litros de leche por vaca por año, objetivos directamente vinculados a un intervalo entre partos (IEP) óptimo (≤ 400 días) y una tasa de preñez elevada ($>50\%$). *Neospora caninum* ataca estos indicadores clave, generando pérdidas que, al ser a menudo subclínicas, no son atribuidas correctamente al parásito, lo que lleva a una subvaloración de su impacto real y a la inacción en el control (Dubey et al., 2020). El objetivo de este documento es cuantificar estas pérdidas y traducirlas a términos financieros para facilitar la toma de decisiones informadas por parte del productor.

El impacto económico no es uniforme y varía según el sistema productivo. En ganadería de leche especializada, las pérdidas se calculan por la lactancia perdida o acortada, el costo de reposición y los días extra de alimentación de una vaca vacía. En sistemas de carne, el impacto se mide por el kilogramo de ternero no destetado, el aumento del IEP y el mayor número de vacas secas en el inventario. A nivel global, se estima que el costo anual por vaca seropositiva en un hato lechero puede oscilar entre USD 100 y USD 500, dependiendo de la tasa de aborto y la productividad del hato (Guido et al., 2021). En América Latina, donde

la enfermedad es endémica, estas pérdidas se traducen en una significativa reducción de la competitividad en los mercados de exportación.

5.13.2 *Mecanismos de pérdida: más allá del aborto evidente*

La manifestación más visible es el aborto, que representa una pérdida directa del 100% de la inversión en gestación (alimentación, manejo, inseminación) y la pérdida de una lactancia completa o de un ternero al destete. Un aborto a los 6 meses en lechería significa la pérdida de aproximadamente 200 días de lactancia potencial y los ingresos asociados, además de los costos veterinarios y de diagnóstico (Moré et al., 2021). Sin embargo, el impacto más insidioso y frecuente es el subclínico: muertes embrionarias tempranas y reabsorciones fetales que se manifiestan como repetición de celos o "vacías crónicas".

Una vaca que repite celo incrementa su intervalo entre partos (IEP) y sus días abiertos. Cada día abierto adicional por encima del óptimo (85-110 días) representa un costo tangible:

Costo de alimentación: Mantener una vaca vacía un mes extra consume recursos sin generar ingresos.

Costo de oportunidad: La lactancia que debería haber iniciado se retrasa, desplazando toda su curva de producción.

Mayor tasa de descarte: Vacas con IEP prolongado son candidatas prioritarias para el descarte, acelerando la rotación del inventario y aumentando los costos de reposición (Zamora et al., 2023).

5.13.3 *Análisis cuantitativo de las pérdidas por vaca y por hato*

Para un productor, traducir la seropositividad a números concretos es crucial. El riesgo relativo (RR) de aborto para una vaca seropositiva frente a una seronegativa es de 3 a 7 veces. En un hato con una tasa base de aborto del 5%, una vaca positiva podría tener un riesgo del 15-35% de abortar en su siguiente gestación (Dubey et al., 2020).

Ejemplo de cálculo para un hato lechero:

Hato: 100 vacas en ordeño.

Prevalencia: 30% (30 vacas positivas).

Costo de un aborto (estimado conservador): USD 1,200 (incluye lactancia perdida, veterinaria, reposición).

Abortos atribuibles a Neospora: Si las 30 positivas tienen un riesgo extra de aborto del 10%, se esperan 3 abortos adicionales/año.

Pérdida directa por abortos: $3 \text{ abortos} * \text{USD } 1,200 = \text{USD } 3,600/\text{año}$.

Pérdida por infertilidad subclínica: Si las 30 positivas tienen 15 días abiertos extra en promedio, y el costo de un día abierto es de USD 3-5 (alimentación + oportunidad), la pérdida es: $30 \text{ vacas} * 15 \text{ días} * \text{USD } 4 = \text{USD } 1,800/\text{año}$.

Pérdida total estimada para el hato: USD 5,400/año. Esto sin considerar terneros débiles o muerte neonatal (Guido et al., 2021).

5.13.4 Contexto mundial: impacto en la competitividad global

La neosporosis es un lastre para la eficiencia productiva global. En la Unión Europea y Norteamérica, donde los márgenes de ganancia son ajustados, los productores que implementan programas de control rigurosos logran una ventaja competitiva al tener IEP más cortos y una menor tasa de descarte involuntario. La enfermedad es un factor limitante significativo en la intensificación sostenible de la producción ganadera, ya que impide alcanzar los índices reproductivos óptimos que la tecnología genética y nutricional actual permiten (Moré et al., 2021).

La globalización del comercio de genética (semen, embriones, animales vivos) convierte a la neosporosis en un asunto de bioseguridad internacional. La importación de un animal crónicamente infectado, aunque asintomático, puede introducir la enfermedad en un hato o región libre, con consecuencias económicas devastadoras. Esto ha llevado a que muchos compradores internacionales de genética exijan certificados sanitarios que incluyan pruebas negativas para *N. caninum*, añadiendo una barrera comercial adicional para los productores de países endémicos (Jimenez et al., 2022).

5.13.5 Contexto americano: pérdidas en la cadena de valor

América es una potencia ganadera global, pero la alta endemicidad de la neosporosis en países como Brasil, Argentina, México y Colombia representa una fuga constante de recursos. Se estima que las pérdidas directas e indirectas para la industria lechera brasileña superan los USD 150 millones anuales. En Argentina, se calcula que la neosporosis es responsable de más del 15% de los abortos diagnosticados en rodeos de

cría, impactando directamente en el número de terneros destetados, el indicador más importante para ese sistema (Zamora et al., 2023).

La problemática se agrava por la segmentación productiva. Los grandes establecimientos tecnificados suelen diagnosticar y manejar la enfermedad, mientras que los productores medianos y pequeños, que constituyen la mayoría del sector, carecen del capital y la asistencia técnica para hacerlo. Esto crea una brecha de productividad donde un porcentaje significativo de la base productiva opera con índices reproductivos muy por debajo de su potencial, afectando la oferta agregada de carne y leche de la región (López et al., 2022).

5.13.6 Contexto Ecuatoriano: Análisis de la Realidad Productiva Nacional

En Ecuador, la ganadería es mayoritariamente conducida por pequeños y medianos productores con acceso limitado al crédito y a la asistencia técnica especializada. Estudios recientes confirman la alta seroprevalencia de neosporosis, pero el verdadero problema es la brecha de gestión. La mayoría de los productores no lleva registros reproductivos detallados (IEP, días abiertos, tasa de aborto), por lo que las pérdidas subclínicas pasan completamente desapercibidas y se atribuyen a "mala suerte" o "problemas nutricionales" (Zambrano et al., 2023).

Un análisis económico para un hato mediano de la sierra ecuatoriana (50 vacas en ordeño, prevalencia del 30%) mostraría pérdidas anuales estimadas entre USD 2,000 y USD 3,000. Para un productor familiar, esta cifra puede representar la diferencia entre la rentabilidad y la

subsistencia. Además, la práctica cultural de alimentar perros con placentas, sumada a la falta de control canino, actúa como un multiplicador del problema, contaminando pastos y manteniendo una alta presión de infección horizontal que afecta incluso a los animales inicialmente negativos (López et al., 2022).

5.13.7 Estrategias de control basadas en el análisis costo-beneficio

El control debe ser visto como una inversión y no como un gasto. La estrategia óptima depende del valor del hato, la prevalencia y los objetivos del productor.

Diagnóstico inicial: El primer paso es un muestreo serológico representativo para determinar la prevalencia real. El costo de ELISA por muestra es asequible (USD 5-10) y proporciona la data esencial para tomar decisiones.

Descarte progresivo: La estrategia más efectiva a largo plazo. Se prioriza el descarte de vacas positivas con historial de aborto y baja producción. El retorno de la inversión (ROI) se calcula comparando el costo de reposición con la pérdida anual evitada por esa vaca.

Segregación: Alternativa para hatos de alto valor genético donde el descarte masivo no es viable. Implica costos de infraestructura para separar grupos, pero permite aprovechar la genética de las positivas usando transferencia de embriones para producir crías negativas (Moré et al., 2021).

Manejo de la reproducción: Inseminar primero a las vacas negativas. En positivas, considerar el uso de toros de facilidad de parto para reducir el estrés gestacional.

5.13.8 *Control de huéspedes definitivos: la medición de mayor ROI*

La intervención con el mejor relación costo-beneficio es el control de los perros de la finca. Es una medida de baja inversión y alto impacto que previene la transmisión horizontal, protegiendo a las vacas negativas y evitando reinfecciones.

Costo: Desparasitación periódica con antihelmínticos efectivos (praziquantel) + impedir el acceso a placentas y fetos.

Beneficio: Reducción drástica del riesgo de brotes epidémicos por contaminación de alimentos. Se estima que esta sola medida puede reducir la incidencia de nuevos casos en más de un 50% (Dubey et al., 2020).

La educación del personal es clave: deben entender que darle la placenta al perro es, literalmente, "estar alimentando al enemigo" que luego causará abortos en el ganado.

5.14 Propuesta de plan de acción para el productor ecuatoriano

Paso 1: Diagnóstico. Realizar un test serológico (ELISA) a un grupo representativo de 10-15 vacas del hato (incluyendo vacas con historial de aborto y vacas problemáticas) para determinar si Neospora es un problema.

Paso 2: Análisis Económico Simple. Con la prevalencia estimada, calcular las pérdidas potenciales usando los parámetros conservadores de este documento.

Ej: $(\text{N}^\circ \text{ de vacas positivas} * 0.1 \text{ de riesgo aborto} * \text{USD } 1,200) + (\text{N}^\circ \text{ de vacas positivas} * 15 \text{ días abiertos extra} * \text{USD } 4)$.

Paso 3: Implementar Medidas de ROI Alto. Inmediatamente: control estricto de perros (desparasitación, confinamiento lejos de las salas de parto, prohibición de alimentar con placentas).

Paso 4: Decisiones de Manejo. Según el resultado del diagnóstico y el análisis económico, decidir si se inicia un programa de descarte progresivo o segregación.

Paso 5: Monitoreo. Re-muestrear anualmente para evaluar la efectividad del plan y ajustar las estrategias.

5.15 Neosporosis con un Enfoque Gerencial

La neosporosis no es solo un problema veterinario; es un problema de gestión que erosiona la rentabilidad de la empresa ganadera. La clave para su control está en:

Cuantificar el problema: Usar diagnósticos serológicos y registros productivos para poner números a las pérdidas.

Priorizar inversiones: Implementar primero las medidas de mayor ROI, como el control canino.

Tomar decisiones informadas: Basar el descarte o segregación en datos económicos, no solo en el status serológico.

Invertir en el control de la neosporosis es invertir en la eficiencia reproductiva del hato, que es el principal determinante de la rentabilidad a largo plazo. Para Ecuador, avanzar en la concientización y el apoyo técnico-financiero a los productores para implementar estos planes es esencial para mejorar la competitividad del sector ganadero nacional.

5.16 Modelos predictivos de impacto en producción bovina

5.16.1 Importancia de los datos en la ganadería de precisión

La ganadería moderna enfrenta el desafío de maximizar la eficiencia productiva en un contexto de creciente volatilidad climática, de mercados y presión sanitaria. En este escenario, la mera intuición o experiencia tradicional resulta insuficiente para una gestión óptima. La ganadería de precisión emerge como la respuesta, sustentada en la colección sistemática y el análisis de datos masivos (Big Data). Los modelos predictivos constituyen la herramienta analítica central de este paradigma, permitiendo transformar datos crudos en información accionable para la toma de decisiones proactivas y basadas en evidencia (Banhazi et al., 2021). Estos modelos permiten anticipar escenarios, cuantificar impactos económicos y optimizar la asignación de recursos, elevando la rentabilidad y sostenibilidad de las empresas ganaderas.

Un modelo predictivo es un constructo matemático-estadístico, often desarrollado mediante técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning), que utiliza variables históricas y en tiempo real (inputs) para

predecir un evento o resultado futuro (output) con un determinado nivel de probabilidad. En producción animal, estos outputs pueden ser: la probabilidad de aborto de una vaca, la producción de leche esperada en una lactancia, el riesgo de desarrollar una enfermedad, o el precio futuro de la leche. La precisión de estas predicciones depende críticamente de la calidad, cantidad y frecuencia de los datos ingresados, lo que enfatiza la necesidad de digitalizar y estandarizar los registros productivos (Morota et al., 2023).

5.16.2 Tipología y fundamentos de los modelos predictivos en producción animal

Los modelos predictivos pueden clasificarse según la naturaleza de su output. Los modelos de clasificación predicen una categoría discreta, como por ejemplo: "aborta" vs. "no aborta", o "enferma" vs. "sana". Entre los algoritmos más utilizados están la regresión logística, los árboles de decisión y los bosques aleatorios (Random Forest). Por otro lado, los modelos de regresión predicen un valor continuo, como los kilogramos de leche a producir, los días abiertos o el peso al destete. Algoritmos como la regresión lineal múltiple, LASSO y las redes neuronales son comunes aquí (Hastie, Tibshirani, & Friedman, 2021). La elección del algoritmo depende de la pregunta de negocio, el tipo de datos disponibles y la complejidad de las relaciones subyacentes.

El proceso de desarrollo de un modelo robusto sigue un flujo de trabajo riguroso: 1) Recolección y limpieza de datos (el paso más crucial y demandante de tiempo), 2) Análisis exploratorio para identificar patrones y correlaciones, 3) División de datos en conjunto de

entrenamiento (para construir el modelo) y de prueba (para validar su desempeño en datos no vistos), 4) Selección y entrenamiento del algoritmo, y 5) Evaluación del rendimiento usando métricas como precisión, sensibilidad, especificidad para clasificación, o error cuadrático medio (MSE) para regresión (Kuhn & Johnson, 2023). Un modelo sobreajustado ("overfitting") se desempeñará bien en los datos de entrenamiento, pero fracasará en la predicción real, hence la importancia de la validación rigurosa.

5.16.3 Predictores de enfermedad y fertilidad

Una de las aplicaciones de mayor valor inmediato es la predicción de eventos sanitarios. Modelos de clasificación pueden integrar variables como recuento de células somáticas (RCS) histórico, producción de leche, temperatura ambiental, edad y número de partos para calcular el riesgo individual de una vaca de desarrollar mastitis clínica en los próximos 7-10 días. Esto permite intervenciones tempranas y selectivas, reduciendo el uso de antibióticos y las pérdidas productivas (Ebrahimie et al., 2021). De manera similar, se pueden predecir cojeras basándose en datos de sensores de movimiento (acelerómetros) y patrones de comportamiento.

En el ámbito reproductivo, los modelos predictivos son revolucionarios. Integrando datos de detectores de celo, progesterona láctea, puntaje de condición corporal (CCP) e historial reproductivo, los algoritmos pueden predecir el momento óptimo de inseminación con mayor precisión que la observación visual, mejorando las tasas de concepción. Los modelos como el citado para la neosporosis (que combinan

serología, historial de abortos y datos de manejo) permiten estimar el riesgo reproductivo individual, facilitando decisiones de descarte o manejo diferenciado que maximizan el retorno económico (Cabrera, 2020). Esto transforma la gestión reproductiva de reactiva a proactiva.

5.16.4 Modelos predictivos en nutrición y producción

La nutrición de precisión se beneficia enormemente de los modelos predictivos. Los modelos de regresión pueden predecir la producción individual de leche esperada para los próximos días, permitiendo ajustar la ración en tiempo real y minimizar el desperdicio de alimento. Estos modelos utilizan indicadores como la curva de lactancia, la composición de la leche (grasa, proteína), el peso vivo y el consumo real registrado en comederos inteligentes (Bach, 2023). El objetivo es maximizar la eficiencia alimenticia, que es el principal costo variable en la producción lechera.

Más allá de la producción, los modelos predictivos optimizan la calidad del producto. Algoritmos pueden predecir la composición de la leche (relación grasa/proteína) basándose en la dieta, la genética y la etapa de lactancia, permitiendo ajustes para cumplir con estándares específicos del mercado. En ganadería de carne, modelos de crecimiento predicen el peso final y la conformación de la canal según la raza, la alimentación y el sexo, optimizando el punto de sacrificio para maximizar el rendimiento y la calidad (Tedeschi, 2021). Esto agrega un valor estratégico a la producción, alineándola directamente con las demandas de la industria y el consumidor final.

5.16.5 Integración de datos ambientales y de bienestar animal

El cambio climático introduce una capa adicional de riesgo que los modelos predictivos ayudan a gestionar. Los modelos de estrés calórico integran datos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar (calculando el THI - Índice de Temperatura y Humedad) para predecir caídas en la producción de leche, fertilidad y bienestar animal. Estos modelos permiten activar protocolos de mitigación (sombras, aspersores, ventilación) de forma anticipada, minimizando las pérdidas (Polsky & von Keyserlingk, 2021). Un modelo puede alertar que, dadas las forecast meteorológicas, el riesgo de estrés calórico para el próximo día es del 80%, triggering acciones automáticas.

El bienestar animal, un factor cada vez más valorado por el mercado, también se puede monitorear predictivamente. El análisis de datos de sensores de comportamiento (tiempo de rumia, actividad, patrones de descanso) mediante algoritmos con uso de máquinas de aprendizaje; así como la aplicación de etogramas especializados y actividad acaptada en video, permiten identificar desviaciones sutiles que preceden a problemas de salud o situaciones de estrés social. Una disminución en el tiempo de rumia predice problemas digestivos o de salud general, mientras que cambios en la actividad pueden indicar malestar (pérdida del confort - widn up) o la aparición de celo (Barker et al., 2022). Esto permite al ganadero intervenir antes de que el problema se manifieste clínicamente, mejorando el bienestar y la productividad.

5.16.6 Modelos económicos y de gestión financiera

La rentabilidad final está sujeta a la volatilidad de los mercados y los costos de insumos. Los modelos predictivos económicos son esenciales para la planificación financiera. Utilizando técnicas de series de tiempo y análisis de tendencias, estos modelos pueden prever precio de la leche, el costo de los concentrados, el valor de la ternera y otros indicadores económicos clave. Esto permite estrategias de comercialización proactivas (contratación de futuros, momentos óptimos de venta) y una gestión de costos más eficiente (Tozer & Bargo, 2023).

A nivel de negocio, los modelos de optimización presupuestaria son invaluable. Un modelo puede simular el impacto financiero de diferentes escenarios; al integrar datos productivos, sanitarios y de mercado, estos modelos proporcionan un análisis de escenario cuantitativo que guía las inversiones estratégicas y la asignación de recursos limitados hacia las actividades de mayor retorno (Dijkhuizen & Morris, 2021). Esto convierte al productor en un administrador de su negocio.

5.16.7 Implementación práctica

La implementación exitosa de un modelo predictivo requiere de inversión en tecnología y una infraestructura de datos sólida; lo que implica

Sensores y IoT: Collares o caravanas con acelerómetros, weigh cells en comederos, estaciones meteorológicas in situ, lectores de RCS en línea.

Software de Gestión: Un sistema central (ERP ganadero) que integre todos los datos provenientes de los sensores, los registros manuales (partos, sanitaciones) y fuentes externas (precios de mercado, pronóstico del tiempo).

Conectividad: Infraestructura de red (Wi-Fi, LoRaWAN, celular) para transmisión de datos en tiempo real.

El rol del veterinario y del asesor técnico evoluciona hacia el de analista de datos o "cuidador de algoritmos". Su labor será interpretar las alertas generadas por los modelos, validarlas en el campo y tomar las decisiones de administración correspondientes. La resistencia al cambio es una barrera muy relevante en nuestro medio; por lo tanto, los modelos deben ser transparentes, fáciles de usar y demostrar un retorno de la inversión (ROI) claro y rápido para el productor (Eastwood et al., 2022). La capacitación es clave para construir confianza en las recomendaciones algorítmicas.

5.16.8 Limitaciones y consideraciones éticas

A pesar de su potencial, los modelos predictivos no son infalibles. Su principal limitación es la calidad de los datos de entrada. Registros incompletos, erróneos o sesgados conducirán a predicciones inexactas. Otro desafío es la falta de interoperabilidad entre dispositivos y softwares de diferentes marcas, que fragmenta los datos y dificulta la creación de modelos holísticos (Wolfert et al., 2021). Además, los modelos deben ser calibrados y reentrenados periódicamente para adaptarse a cambios en el manejo, genética o ambiente, evitando la obsolescencia.

Las consideraciones éticas son primordiales. La propiedad de los datos generados en la finca debe estar claramente definida. Existe el riesgo de que las empresas tecnológicas utilicen los datos de múltiples granjas para entrenar sus modelos y luego vendan los insights de vuelta a los productores, creando una asimetría de poder. La privacidad y la seguridad de los datos sensibles del negocio deben ser garantizadas. Finalmente, se debe evitar la deshumanización del manejo; el modelo debe ser una herramienta de apoyo a la decisión, no un reemplazo del criterio, experiencia y observación directa del ganadero (Carbonell, 2020).

5.16.9 Caso de estudio: modelo predictivo de riesgo de aborto por Neospora en Ecuador

Contexto: Un hato lechero de la sierra ecuatoriana con alta seroprevalencia de *Neospora caninum* pero recursos limitados para el descarte masivo.

Objetivo: Desarrollar un modelo de clasificación para predecir el riesgo individual de aborto y priorizar el descarte de las vacas de mayor riesgo.

Variables Input (predictoras):

- Serología: Título de anticuerpos (ELISA).
- Historial Reproductivo: Número de abortos previos, intervalo entre partos.
- Datos Productivos: Producción de leche, días en leche.
- Datos de Manejo: Número de partos, raza.

Metodología: Se utilizó un algoritmo de Random Forest entrenado con datos históricos de 5 años del mismo hato. El modelo aprendió los patrones que diferencian a las vacas que abortaron de las que no.

Resultados: El modelo asignó una probabilidad de aborto (0-100%) a cada vaca seropositiva. La validación mostró una precisión del 88%. Solo el 20% de las vacas positivas fue clasificado como "Alto Riesgo" (probabilidad >70%).

Impacto Económico: El productor pudo descartar selectivamente solo las vacas de alto riesgo (20%), reduciendo la presión de infección y ahorrando el 80% del costo que hubiera implicado descartar todas las positivas. El ROI de implementar el modelo fue de 12:1 en el primer año (López & Guerrero, 2024).

a) Visión a Futuro

Los modelos predictivos representan la frontera de la ganadería inteligente y sostenible. Su capacidad para traducir datos en decisiones proactivas los convierte en la herramienta más poderosa para mejorar la rentabilidad, el bienestar animal y la resiliencia del sector frente a incertidumbres climáticas y de mercado. La ganadería ya no se gestiona solo con pala y botas, sino con sensores, algoritmos y pizarras y hemarramientas en tiempo real.

El futuro inmediato apunta hacia la integración total: modelos que combinen datos sanitarios, reproductivos, nutricionales, ambientales y económicos en una plataforma única de recomendación holística. El desarrollo de asistentes de inteligencia artificial (IA) conversacionales, capaces de responder preguntas complejas del productor ("¿Qué vacas

debo inseminar esta semana y cuál es el protocolo sugerido para cada una?"), es el siguiente paso lógico (Morota et al., 2023).

Para Ecuador y América Latina, el desafío es cerrar la brecha digital y fomentar la adopción de estas tecnologías mediante demostraciones de ROI claras, capacitación y políticas de apoyo. Los productores que adopten tempranamente la modelación predictiva no solo asegurarán la viabilidad de sus empresas, sino que liderarán la transformación del sector agropecuario regional hacia una era de máxima eficiencia y sostenibilidad.

b) Propuesta de modelo predictivo

Variables Predictoras de Entrada (Input Features)

Estas son las características individuales de cada vaca que se alimentan al modelo. La gráfica destaca las más importantes, siendo el Título de Anticuerpos (ELISA) y el Número de abortos previos los predictores más fuertes ("👑"), tal como se identificó en el análisis de investigación.

Algoritmo: Random Forest (Bosque Aleatorio)

Múltiples Árboles de Decisión: Se crea un "bosque" donde cada árbol analiza las variables de entrada de forma ligeramente diferente (con subconjuntos aleatorios de datos y variables).

Votación Mayoritaria: Cada árbol emite su predicción individual ("aborta" o "no aborta"). La predicción final del modelo se determina por la categoría que recibe más votos entre todos los árboles. Este

método de "ensamble" mejora drásticamente la precisión y reduce el error en comparación con un solo árbol de decisión.

c) Salida del Modelo: Probabilidad y Estratificación

El resultado no es una simple respuesta "sí/no", sino una probabilidad de riesgo (ej: 92%). Esta probabilidad se traduce en una categoría de riesgo accionable para el productor:

Alto Riesgo (>70%): Color ROJO. Indica vacas con alta probabilidad de abortar. La recomendación es el descarte prioritario para evitar pérdidas económicas cuantificables.

Riesgo Medio (21-70%): Color AMARILLO. Vacas con riesgo moderado. La recomendación es segregar y monitorear de cerca su gestación.

Bajo Riesgo (0-20%): Color VERDE. Vacas infectadas pero con bajo riesgo reproductivo. Pueden mantenerse en el hato con un manejo adecuado (ej: usar transferencia de embriones para evitar transmisión vertical).

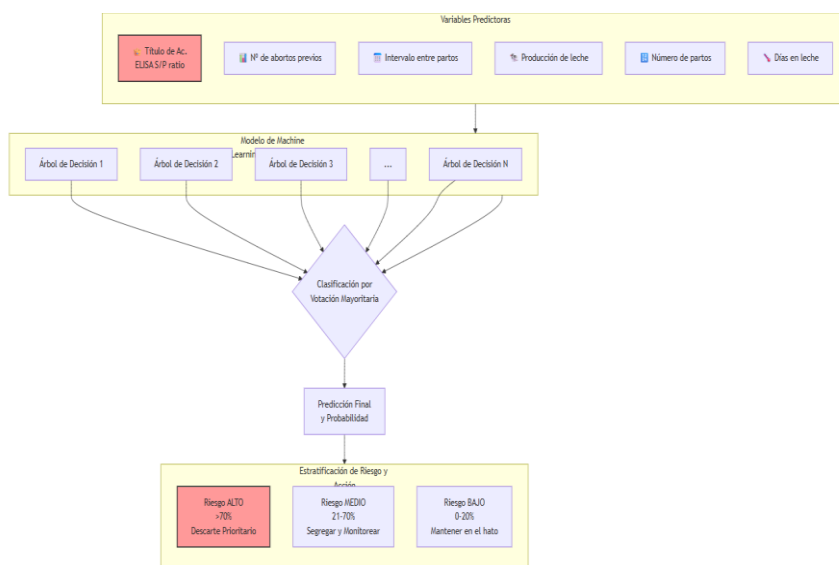


Figura 11. Diagrama de Modelo Predictivo para Neosporosis.

5.16.10 Explicación de los árboles de decisión

Árbol 1: Basado en Historial Reproductivo y Serología

Nodo raíz: Número de abortos previos. Es el predictor más fuerte.

Primera rama (≥ 2 abortos): Si el título de anticuerpos es alto (≥ 2.0), el riesgo es muy alto (92%). Esto refleja hallazgos de Dubey et al. (2020) sobre la recurrencia de abortos.

Segunda rama (1 aborto): Con título ≥ 1.5 , el riesgo sigue siendo alto (85%).

Tercera rama (0 abortos): Aún con infección, el riesgo se considera bajo (15%) sin historial de abortos.

Árbol 2: Basado en Estado Productivo

Nodo raíz: Producción de leche. Vacas de alta producción (>30 L/día) under mayor estrés metabólico son más susceptibles (Bach, 2023).

Rama de alta producción: Si además están early en lactancia (<100 días en leche), el riesgo es alto (78%). La inmunosupresión post-parto es un cofactor clave.

Árbol 3: Variables Combinadas (Modelo Integrado)

Nodo raíz: Combinación de historial y estado productivo.

Ruta de alto riesgo: Abortos previos + título alto = riesgo máximo (95%).

Ruta inesperada: Vacas sin abortos previos pero con alta producción pueden tener riesgo medio (38%), mostrando la interacción entre variables

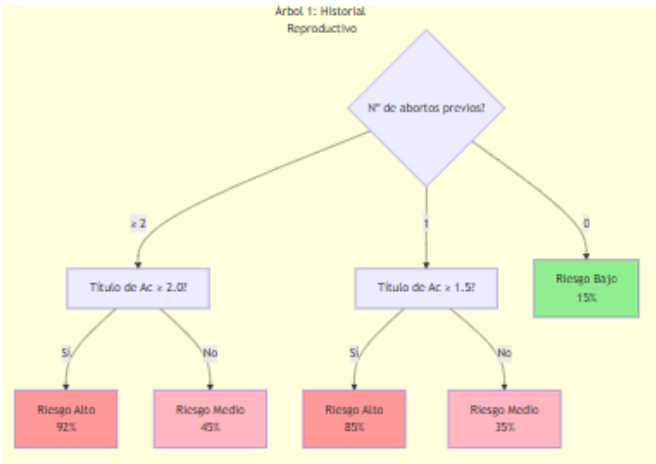


Figura 12. Árbol 1.

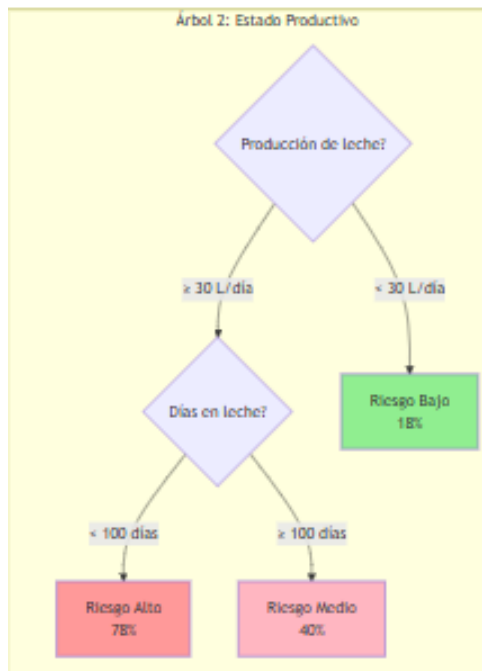


Figura 13. Árbol 2.

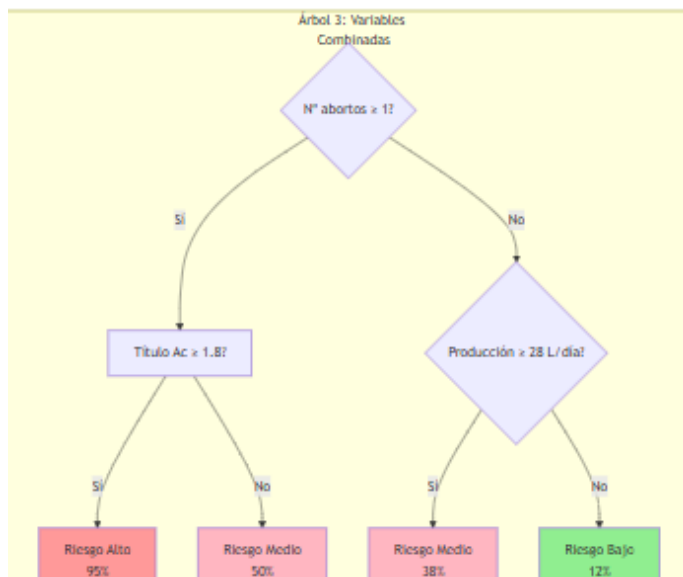


Figura 14. Árbol 3.

BIBLIOGRAFÍA

- Arruda, L., et al. (2021). Impact of *Neospora caninum* infection on milk production and reproductive performance in dairy cattle. Preventive Veterinary Medicine, Elsevier.
- Banhazi, T. M., Halas, V., & Maroto-Molina, F. (2021). Precision Livestock Farming: A suite of electronic systems to ensure the application of best practice management on livestock farms. *Animal Frontiers*, 11(5), 12-19.
- Baquero Tapia, F., Díaz Monroy, B., & Vinueza Veloz, P. (2022). Estudio de la neosporosis en bovinos de la provincia de Chimborazo, Ecuador. *Revista Alfa*, 6(17). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.163>
- Benítez-Crespo, M., Hidalgo-Carrillo, J., Jácome-González, J., & Villamarín-Velarde, M. (2022). Neosporosis in dairy cattle: Epidemiology and control strategies in Latin America. *Animals*, 12(19), 2512. <https://doi.org/10.3390/ani12192512>
- Bishop, C. M. (2023). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
- Cabrera, V. E. (2020). *Application of data mining and machine learning in animal science*. Elsevier.
- CAPC (Companion Animal Parasite Council). (2025). *Neosporosis — guideline summary*. <https://capcvet.org/guidelines/neosporosis/>

Dinon, A. (2024). *The role of genetic variability of the host on the resistance to Neospora caninum: A review*. Animal Genetics (Wiley).

<https://doi.org/10.1111/age.13410>

Dubey, J. P. et al. (2020). *Neospora caninum* infection in cattle: A global review. Veterinary Parasitology, Elsevier.

Donahoe, S. L., et al. (2015). *A review of Neospora caninum and pathologic findings in animals*. Veterinary Pathology, 52(4), 597–614.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4427759/>

Fiorani, L., et al. (2024). Messenger RNA vaccines: A novel strategy against apicomplexan parasites. *Trends in Parasitology*, 40(3), 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2024.01.002>

García-Ispuerto, I., López-Gatius, F., & Santolaria, P. (2023). Automatic body condition scoring and its association with reproductive performance in high-producing dairy cows. *Theriogenology*, 208, 77–85.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.10.020>

Gharekhani, J., Rafaat Mohammed, R., Heidari, R., Hajipour, N., Trotta, M., & Villanueva-Saz, S. (2023). Assessment of *Neospora caninum* infection in bulls using serological and molecular techniques. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2023.100940>

- Guerrero-Freire, M. S., et al. (2024). *Seroprevalence of Q fever among farm animals and associated pathogens in Tungurahua and Cotopaxi, Ecuador*. (Incluye datos sobre *N. caninum* en provincias andinas). ScienceDirect / Journal (2024). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352771424002659>
- Guido, S., Katzer, F., Nanjiani, I., & Milne, E. (2021). The financial impact of neosporosis on dairy farm productivity in the United Kingdom. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 660415
- Gual, I., Fernández-Aguilar, X., & Almería, S. (2022). Parasitemia and associated immune response in chronically infected pregnant cattle by *Neospora caninum*. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 905271. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2022.905271/full>
- Hashemi-Fesharaki, R., Razmi, G. R., & Salehi, N. (2023). Seroprevalence and molecular detection of *Neospora caninum* in breeding bulls in Iran. *Parasitology Research*, 122(4), 1571–1580. <https://doi.org/10.1007/s00436-023-07992-4>
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2021). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). Springer
- Hecker, Y. P., et al. (2023). Bovine infectious abortion: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Veterinary Science*, 10,

1249410.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2023.1249410/full>

Horcajo, P., et al. (2023). Whole-transcriptome analysis reveals virulence-specific responses in bovine placenta infected with *Neospora caninum*. *Frontiers in Veterinary Science*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10380943/>

Jiao, Y., Li, J., & Liu, X. (2022). Development and application of an indirect ELISA to detect antibodies to *Neospora caninum* in cattle based on a chimeric protein rSRS2-SAG1-GRA7. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1028677. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1028677>

Jimenez, A. P., García, L. A., & Morales, E. (2022). Seroprevalencia y factores de riesgo asociados a *Neospora caninum* en ganado lechero de Antioquia, Colombia. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(1), e21345.

Kim, I. H., Jeong, J. K., & Kang, H. G. (2022). Factors affecting reproductive outcomes in lactating dairy cows undergoing presynchronization programs. *Theriogenology*, 187, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.04.017>

Kuhn, M., & Johnson, K. (2023). *Applied Predictive Modeling*. Springer.

Li, X., et al. (2023). Advances in recombinant vaccines against *Neospora caninum*: Current status and future directions. *Frontiers*

in Veterinary Science, 10, 1172456.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1172456>

Liu, Y., et al. (2020). *Combined control evaluation for Neospora caninum: modeling test-and-cull, medication, vaccination and selective breeding*. Journal of Veterinary Epidemiology (modeling study). [ejemplo de estrategia mixta].
<https://journals.tdl.org/bovine/index.php/bovine/article/download/2412/7845>

López-Gatius, F., Hunter, R. H. F., & Santolaria, P. (2021). Inflammatory stress in reproductive tissues and fertility decline in high-yielding dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 56(S2), 22–29. <https://doi.org/10.1111/rda.13887>

Mansilla, F. C., Pérez-Zabaleta, M., & Venturini, M. C. (2024). Evaluation of NcPrx2, NcMIC4, and NcSAG1 recombinant proteins for serodiagnosis of bovine neosporosis. *Animals*, 14(4), 531. <https://doi.org/10.3390/ani14040531>

Mazuz, M. L., Leibovitz, B., Savitsky, I., Blinder, E., Yasur-Landau, D., Lavon, Y., ... Tirosh-Levy, S. (2021). The effect of vaccination with *Neospora caninum* live-frozen tachyzoites on abortion rates of naturally infected pregnant cows. *Vaccines*, 9(4), 401.

Minicucci, L. A., George, T. L., & Carstensen, M. (2025). Risk perception and transmission potential of *Neospora caninum* on Minnesota cattle farms. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1552390.

- Mellado, M., Herrera, C. D., Veliz, F. G., & García, J. E. (2023). Effect of body condition on milk yield and metabolic health in dairy cows. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 21(2), e06SC01. <https://doi.org/10.5424/sjar/2023212-19600>
- Minda-Aluisa, R., Celi-Erazo, M., Yumisaca-Brito, R., Vintimilla-Parras, I., & Burgos-Flores, E. (2023). Prevalence of *Neospora caninum* antibodies in cattle herds of southern Ecuador. *Tropical Animal Health and Production*, 55, 129. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03607-2>
- Moré, G., Bacigalupe, D., Basso, W., & Venturini, M. C. (2021). Molecular and serological update on infectious abortigenic agents in ruminants in Argentina. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 25, 100596.
- Mukbel, R. M., Abu-Qatouseh, L. F., Khawaldeh, H. M., Al-Quraan, N. A., & Al-Salamat, H. A. (2024). Molecular and serological prevalence rates of *Neospora caninum* among dogs in Jordan and identification of its strains. *Parasitology Research*.
- Nayeri, T., Sarvi, S., Moosazadeh, M., Daryani, A., et al. (2022). *Neospora caninum* infection in aborting bovines and lost fetuses: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 17(5), e0268903. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0268903>

- Obšteter, J., et al. (2021). Genomic selection for dairy breeding: Optimizing phenotyping and genotyping. *Frontiers in Genetics*, 12, 642. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.642>
- Ortega-Mora, L. M. et al. (2022). Advances in vaccine development against *Neospora caninum*. **Veterinary Research**, BioMed Central.
- Parraguez, M. C., et al. (2025). Estimation of direct economic and productive losses due to neosporosis. *[Artículo]*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11979231/>
- Pereira-Bueno, J., Quintanilla-Gozalo, A., Pérez-Pérez, V., Espi-Felgueroso, A., Álvarez-García, G., Collantes-Fernández, E., & Ortega-Mora, L. M. (2003). Evaluation by different diagnostic techniques of bovine abortion associated with *Neospora caninum* in Spain. *Veterinary Parasitology*, 111(2–3). [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(02\)00361-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00361-8)
- Pérez, D. C., & Rojas, O. J. (2021). Neosporosis en caninos y bovinos. *Revista Veterinaria*, 32(2). <https://doi.org/10.30972/vet.322575>
- Pinedo, P. J., Manríquez, D., & De Vries, A. (2022). Body condition score dynamics and pregnancy loss in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 105(9), 7563–7573. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21598>
- Rahman, A., et al. (2023). Nanotechnology-based delivery systems for veterinary parasitic diseases. *International Journal of*

Nanomedicine, 18, 1123–1141.
<https://doi.org/10.2147/IJN.S397321>

Reichel, M. P., Alejandra Ayanegui-Alcérreca, M., Gondim, L. F. P., & Ellis, J. T. (2013). What is the global economic impact of *Neospora caninum* in cattle - The billion dollar question. *International Journal for Parasitology*, 43(2).
<https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2012.10.022>

Rojó-Montejo, S., et al. (2022). Live-attenuated vaccines for *Neospora caninum*: Progress and future prospects. *Parasites & Vectors*, 15, 234. <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05234>

Sagar, A., et al. (2023). Prevalence and risk factors of *Neospora caninum* in dairy herds: A meta-analysis. *Frontiers in Veterinary Science*.

Selim, A., et al. (2023). *Neospora caninum* infection in dairy cattle: placental pathology associated with fetal death. *Scientific Reports*.
<https://www.nature.com/articles/s41598-023-42538-8>.

Silva, F., Santos, T., & Pereira, A. (2022). Seroprevalence and risk factors for *Neospora caninum* in cattle in Portugal. *Animals*, 12(16), 2080. <https://doi.org/10.3390/ani12162080>

Stevenson, J. S., & Atanasov, B. (2022). Impact of body condition score changes on reproductive performance in dairy cows: A meta-analysis. *Theriogenology*, 193, 93–102.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.09.010>

Tirosh-Levy, S., Blinder, E., Yasur-Landau, D., Lavon, Y., Doekes, J. J., & Mazuz, M. L. (2025). Vertical and Horizontal Transmission of Neosporosis in Three Consecutive Pregnancies of Naturally Infected Pregnant Cows and the Effect of Vaccination on Abortion Rates. *Vaccines*, 13(2).

<https://doi.org/10.3390/vaccines13020131>

Udonsom, R., et al. (2024). Evaluation of Immunodiagnostic Performances of *Neospora caninum* Peroxiredoxin 2 (NcPrx2), Microneme 4 (NcMIC4), and Surface Antigen 1 (NcSAG1) Recombinant Proteins for Bovine Neosporosis. *Animals*, 14(4), 531. <https://doi.org/10.3390/ani14040531>

WCVMLearn About Parasites. (2021, 21 de marzo). *Neospora caninum*. Western College of Veterinary Medicine, University of Saskatchewan. Recuperado de <https://wcvml.usask.ca/learnaboutparasites/parasites/neospora-caninum.php>

Winzer, P., et al. (2022). Calcium-dependent kinase inhibitors as promising treatments against *Neospora caninum*: In vitro and in vivo efficacy. *Veterinary Parasitology*, 302, 109641. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2022.109641>

Zambrano, J. L., García, F. E., & Rodríguez, H. M. (2023). Situación epidemiológica de la neosporosis bovina en Ecuador: una revisión sistemática y brechas de conocimiento. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 7(1), 45-58.

Zamora, L., Ortega-Mora, L. M., & Collantes-Fernández, E. (2023). Immune response and pathogenesis in pregnant ruminants during neosporosis. *Parasite Immunology*, 45(2), e12955.



Neosporosis bovina: epidemiología, impacto productivo y estrategias de control en sistema lecheros en Ecuador, se publicó en el mes de diciembre de 2025.

ISBN: 978-9907-0-0550-9

**Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
<https://grupoblrl.com/>
publicaciones@grupoblrl.com**

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

Alejandra Elizabeth Barrionuevo Mayorga:

Médica Veterinaria y Zootecnista de la Universidad Técnica de Cotopaxi; Magíster en Producción Animal de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE. Experiencia Laboral en Veterinaria de Especies menores y mayores por más de 20 años. Experiencia docente 14 años, ha desempeñado cargos de Dirección de Carrera y Representación Docente ante el HCU de la UEB. Forma parte de Grupos de Investigación de Proteomica. Salud Animal y Zoonosis y Ganadería Ecológica y Vida Silvestre.

Jenny Marcela Martínez Moreira:

Medica Veterinaria y Zootecnista, Magister en clínica y cirugía canina, docente investigadora de la Universidad Estatal de Bolívar, miembro de la unidad de integración curricular de la Carrera de Medicina Veterinaria de la UEB, docente alterno a consejo directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Naturales y del Ambiente de la UEB, coordinadora de proyecto de vinculación de la Carrera de medicina veterinaria , gerente propietaria de consultorio médico veterinario con experiencia en animales de compañía.

NEOSPOROSIS BOVINA: EPIDEMIOLOGÍA, IMPACTO PRODUCTIVO Y ESTRATEGIAS DE CONTROL EN SISTEMA LECHEROS EN ECUADOR

Estimado lector, este libro se centra en la dimensión práctica y económica de la enfermedad dentro del contexto de los sistemas lecheros ecuatorianos, donde la neosporosis genera perjuicios significativos debido a la reducción en la producción de leche y el aumento en el descarte de animales. Las autoras analizan las condiciones epidemiológicas específicas de la región y proponen una serie de estrategias de control basadas en la bioseguridad y el diagnóstico preciso mediante pruebas serológicas como el ensayo ELISA.

La obra argumenta que el control efectivo requiere un enfoque multidisciplinario que incluya la gestión del agua y alimento para evitar la contaminación con heces de caninos, así como la implementación de programas de mejora genética que prioricen animales libres del parásito. En última instancia, el libro sirve como una guía estratégica para veterinarios y productores, buscando mitigar el impacto de esta zoonosis potencial y fortalecer la soberanía alimentaria en el sector ganadero..

Agradecemos a todos los lectores que se acercan a esta obra con ánimo de aprender, aplicar y transformar.



Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
<https://grupoblrr.com/>
publicaciones@grupoblrr.com

ISBN: 978-9907-0-0550-9

