

Afectación de paratuberculosis en la producción de ganado vacuno: estrategias integrales para su control y prevención

Impact of Paratuberculosis on Cattle Production: Comprehensive Strategies for its Control and Prevention

Afeição de paratuberculose na produção de gado bovino: estratégias integradas para seu controle e prevenção

Balseca DM ¹ (<https://orcid.org/0009-0001-9878-5517>) Oreste LO ² (<https://orcid.org/0000-0001-8007-6053>)

¹ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Agrociencias, Av. Urbina y Portoviejo 130105, Portoviejo, Ecuador.

² Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Agrociencias, Av. Urbina y Portoviejo 130105, Portoviejo, Ecuador.

Correo electrónico: diegobalseca96db91@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.19137/cienvet.v27.8780>

Fecha de recepción: 27 de diciembre de 2025

Fecha de aceptado para su publicación: 03 de abril de 2025

Resumen

El estudio aborda la paratuberculosis bovina, una enfermedad infecciosa crónica causada por *Mycobacterium avium* subespecie *paratuberculosis*, que afecta principalmente rumiantes y tiene un impacto económico considerable en la producción de leche y carne. El objetivo de la investigación es analizar las estrategias actuales de diagnóstico, control y prevención, mediante la identificación de sus limitaciones y áreas de mejora. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica histórica de publicaciones realizadas entre 2019 y 2024 sobre la enfermedad en bovinos. Los resultados muestran que el diagnóstico es complejo debido a la naturaleza subclínica de la enfermedad y la resistencia del patógeno. Las pruebas más empleadas son ELISA, PCR y cultivo fecal, destacándose la PCR por su mayor sensibilidad. Sin embargo, aún no existe una prueba diagnóstica definitiva. En cuanto al control, se subraya la importancia de implementar medidas de bioseguridad, monitorear a los animales de alto riesgo e incluir el aislamiento de vacas infectadas. En conclusión, el control de la paratuberculosis requiere un enfoque integral que combine diagnóstico temprano, bioseguridad efectiva



y manejo adecuado. A pesar de los avances logrados, la erradicación continúa siendo un desafío debido a la resistencia bacteriana a los antimicrobianos y a las limitaciones de las herramientas disponibles. Esto resalta la necesidad de seguir investigando métodos diagnósticos y vacunas más eficaces

Palabras clave: Paratuberculosis, Bovinos, Control, Enfermedad, Sanidad

Abstract

The study addresses bovine paratuberculosis, a chronic infectious disease caused by *Mycobacterium avium* subspecies paratuberculosis, which primarily affects ruminants and has a considerable economic impact on milk and meat production. The aim of the research is to analyse current strategies for diagnosis, control, and prevention by identifying their limitations and areas for improvement. To this end, a historical literature review was conducted, covering publications from 2019 to 2024 on the disease in cattle. The findings indicate that diagnosis remains complex due to the subclinical nature of the disease and the pathogen's resilience. The most commonly used tests are ELISA, PCR, and faecal culture, with PCR standing out for its higher sensitivity. However, no definitive diagnostic test is currently available. Regarding control measures, the importance of implementing biosecurity protocols, monitoring high-risk animals, and isolating infected cows is emphasised. In conclusion, the control of paratuberculosis requires a comprehensive approach that combines early diagnosis, effective biosecurity, and proper management practices. Despite progress made, eradication remains a challenge due to bacterial resistance to antimicrobials and limitations in the tools currently available. This underscores the ongoing need to investigate more effective diagnostic methods and vaccines.

Keywords : Paratuberculosis, Cattle, Control, Disease, Health.

Resumo

O estudo aborda a paratuberculose bovina, uma doença infecciosa crônica causada por *Mycobacterium avium* subespécie paratuberculosis, que afeta principalmente os ruminantes e gera um impacto econômico considerável na produção de leite e carne. O objetivo da pesquisa é analisar as estratégias atuais de diagnóstico, controle e prevenção, identificando suas limitações e áreas passíveis de melhoria. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica histórica de publicações sobre a doença em bovinos, abrangendo o período de 2019 a 2024. Os resultados indicam que o diagnóstico é complexo devido à natureza subclínica da doença e à resistência do patógeno. Os testes mais utilizados são ELISA, PCR e cultivo fecal, destacando-se o PCR por sua maior sensibilidade. No entanto, ainda não existe um teste diagnóstico definitivo. Quanto ao controle, ressalta-se a importância da implementação de medidas de biossegurança, do monitoramento de animais de alto risco e do isolamento de vacas infectadas. Em

conclusão, o controle da paratuberculose exige uma abordagem integral que combine diagnóstico precoce, biossegurança eficaz e manejo adequado. Apesar dos avanços obtidos, a erradicação continua sendo um desafio devido à resistência bacteriana aos antimicrobianos e às limitações das ferramentas atualmente disponíveis. Isso ressalta a necessidade contínua de investigar métodos diagnósticos e vacinas mais eficazes.

Palavras-chave Paratuberculose, Bovinos, Controle, Doença, Sanidade

Introducción

La enfermedad de Johne, también conocida como *paratuberculosis*, es una patología infecciosa de carácter inflamatorio, asociada en su mayoría con rumiantes y causada por *Mycobacterium avium* subespecie paratuberculosis (MAP), una bacteria caracterizada por su notable resistencia a diversos factores ambientales, físicos y químicos, capaz de sobrevivir durante períodos prolongados fuera de su huésped ^(1,2)

El ganado bovino constituye un pilar fundamental en la economía global, desempeñando un papel clave en la producción alimentaria. En la Unión Europea, la leche es el segundo producto alimenticio más producido, superada únicamente por las frutas y verduras, representando aproximadamente el 14% del total de la producción agrícola. De acuerdo con la Red Internacional de Comparación Agrícola, se proyecta que la producción mundial de leche incrementará en un 35% para el año 2030, con el fin de satisfacer la creciente demanda global ⁽³⁾

Actualmente, la paratuberculosis es considerada un problema de salud global con pérdidas económicas anuales que alcanzan aproximadamente los cuatro mil millones de dólares estadounidenses a nivel mundial ⁽⁴⁾ Estas pérdidas se relacionan con la disminución en la producción de leche y fertilidad, la menor eficiencia en la conversión alimentaria, el incremento en las tasas de sacrificio, los elevados costos de reemplazo y una mayor susceptibilidad a otras enfermedades ⁽⁵⁾

Además del impacto económico, se han establecido asociaciones entre los niveles de lipoproteínas y la reactividad humoral en enfermedades como la esclerosis múltiple, la diabetes mellitus tipo 1, la artritis reumatoide y la enfermedad de Crohn en seres humanos. Esto se debe a la presencia de MAP en leche cruda y procesada, ya que esta bacteria es capaz de sobrevivir a las técnicas de pasteurización, lo que representa un riesgo potencial para la salud pública. En consecuencia, la Unión Europea ha implementado programas de control con el objetivo de proteger la salud humana ⁽⁶⁾

La infección subclínica, generalmente asintomática, puede pasar inadvertida, lo que representa un desafío significativo para su diagnóstico y control, debido a la limitada disponibilidad de pruebas diagnósticas confiables y a su resistencia intrínseca frente a antibióticos y desinfectantes. Una comprensión integral de su etiología, de los

mecanismos de transmisión bacteriana y de las estrategias de control es esencial para abordar este patógeno tanto a nivel nacional como internacional. Por ello, la presente revisión ofrece una visión detallada de los aspectos de la patogenicidad, destacando los factores clave asociados con esta enfermedad infecciosa ⁽⁷⁾

Materiales y Métodos

El propósito de este artículo consistió en identificar y analizar críticamente diversas estrategias integrales, según la literatura, que puedan ser implementadas de forma efectiva en el manejo tradicional del ganado bovino afectado por paratuberculosis. El objetivo principal fue analizar los métodos de diagnóstico, evaluando su sensibilidad y especificidad, así como describir las estrategias de control y prevención, con el fin de reducir su incidencia, optimizar las prácticas de manejo y fortalecer las medidas de bioseguridad en la industria ganadera.

Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en diversas bases de datos, como Scopus, SciELO, Research Rabbit, Redalyc y ESCI. Para garantizar la relevancia de los estudios seleccionados, se establecieron criterios de inclusión y exclusión claramente definidos. Dentro de los criterios de inclusión, se consideraron publicaciones realizadas entre 2019 y 2024, estudios en inglés o español que aborden estrategias de control y prevención de la paratuberculosis en ganado bovino, así como investigaciones que incluyan datos cuantitativos relevantes. Además, se incluyeron fuentes con antecedentes históricos.

En el proceso de selección, se excluyeron los artículos duplicados en diferentes bases de datos identificados mediante la plataforma de Rayyan, estudios enfocados en especies distintas al ganado bovino o que no trataran específicamente la paratuberculosis y literatura sin acceso al texto completo o datos no concluyentes. La búsqueda se guió por palabras clave y términos MESH, tales como: “Paratuberculosis”, “cattle”, “control”, “disease”, “health” and “care”. Se incluyeron 35 artículos que cumplían con los criterios establecidos, con los cuales se realizó una revisión histórica para proporcionar un análisis cualitativo amplio, integrando diferentes perspectivas sobre el control de la paratuberculosis en bovinos. La información fue categorizada en temas clave como epidemiología, diagnóstico, manejo de la enfermedad, estrategias de control y prevención. Para organizar las referencias, se empleó el software Mendeley, garantizando una citación adecuada.

Resultados y Discusión

La ganadería bovina, tanto en su vertiente lechera como cárnica, constituye una columna vertebral del panorama agrícola global, desempeñando un papel insustituible en la seguridad alimentaria mundial. Esta industria no solo proporciona fuentes esenciales de proteínas de alta calidad, sino que, a través de sus productos derivados, ofrece nutrientes vitales para el ser humano, como el calcio, el hierro, las vitaminas y las proteínas. La carne y la leche de vacuno son fuentes de nutrientes indispensables en las dietas de millones de personas alrededor del mundo, y su disponibilidad, aceptación y asequibilidad las posicionan como una de las fuentes de proteína animal más relevantes. En términos de accesibilidad económica, la proteína de origen vacuno se destaca por su relación costo-beneficio, lo que la hace accesible para gran parte de la población mundial, incluso en regiones de bajos recursos.⁽⁸⁾

El sector ganadero bovino también es un motor crucial para la economía global, representando aproximadamente el 40% del valor total de la producción agrícola a nivel mundial. Su relevancia económica trasciende las fronteras de la agricultura, pues está íntimamente vinculada con la generación de empleo, especialmente en las zonas rurales, donde muchas comunidades dependen directamente de la ganadería como fuente primaria de sustento. Además, esta actividad productiva posee una significación cultural indiscutible, influyendo en las tradiciones alimentarias, el comercio local y global, y las estructuras sociales de diversas regiones. Países como Brasil, India y Estados Unidos, que lideran la producción de carne y leche a escala mundial, continúan siendo ejemplos paradigmáticos de cómo el sector ganadero no solo satisface una necesidad alimentaria, sino que también actúa como un motor de desarrollo económico, sustentado por avances tecnológicos y políticas gubernamentales eficaces.⁽⁹⁾

A lo largo de las últimas décadas, la producción global de productos derivados del ganado vacuno ha experimentado una expansión sustancial, impulsada por el crecimiento demográfico, la urbanización y el aumento de la demanda de proteínas animales. La producción lechera, por ejemplo, alcanzó en 2022 un volumen global de 929,9 millones de toneladas, con India liderando este sector, representando más del 24% de la producción mundial. De igual forma, la producción de carne continúa incrementándose, si bien a un ritmo más moderado que la leche, destacando a América Latina como un actor principal en el ámbito global, con una participación del 28% en el ganado mundial y del 25% en la carne consumida globalmente.^(9,10)

El crecimiento sostenido de la producción bovina ha sido acompañado de nuevos retos, particularmente en términos de sostenibilidad ambiental. Si bien la intensificación de la producción lechera y cárnica ha permitido satisfacer la creciente demanda de alimentos, también ha generado un debate sobre el impacto ambiental de estos procesos. Sin embargo, la capacidad del sector ganadero para seguir siendo un pilar de la seguridad alimentaria global y para aportar de manera significativa al comercio y al empleo continúa siendo indiscutible. Su resiliencia frente a los desafíos económicos, sociales y

ambientales reafirma la centralidad de la ganadería bovina en la dinámica agrícola internacional. ⁽¹⁰⁾.

Paratuberculosis Bovina

La enfermedad de Johne, también conocida como paratuberculosis bovina (PTB), fue descrita por primera vez en 1895 por los veterinarios Heinrich Albert Johne y Langdon Frothingham en Alemania. Estos investigadores identificaron a *Mycobacterium avium* subespecie *paratuberculosis* (MAP) como el agente causante de la enfermedad de Johne, al detectarla en el intestino de una vaca que presentaba diarrea crónica y pérdida de peso. ⁽¹¹⁾

MAP se clasifica en dos tipos principales de cepas: el tipo S (asociado a ovinos, con los subtipos I y III) y el tipo C (relacionado con bovinos, también conocido como tipo II, que incluye el tipo B, identificado en ganado estadounidense y bisonte indio) ⁽¹²⁾ Las cepas tipo S se presentan predominantemente en ovejas y cabras, aunque son raras en la fauna silvestre. En contraste, la cepa tipo B, común en el ganado bovino, presenta una capacidad de infectar una amplia gama de huéspedes, incluidos tanto rumiantes como no rumiantes. Es una bacteria intracelular, gram positiva, acidorresistente, con forma de bacilo y dimensiones de 0,5 a 1,5 µm, su pared celular es densa, caracterizada por un arabinogalactano ceroso que protege y mantiene intactas las capas de micolato y peptidoglicano, otorgándole resistencia y estabilidad estructural. Además, presenta un largo período de incubación (de 2 a 5 años) y la infección suele producirse durante los primeros seis meses de vida. ^(13,14)

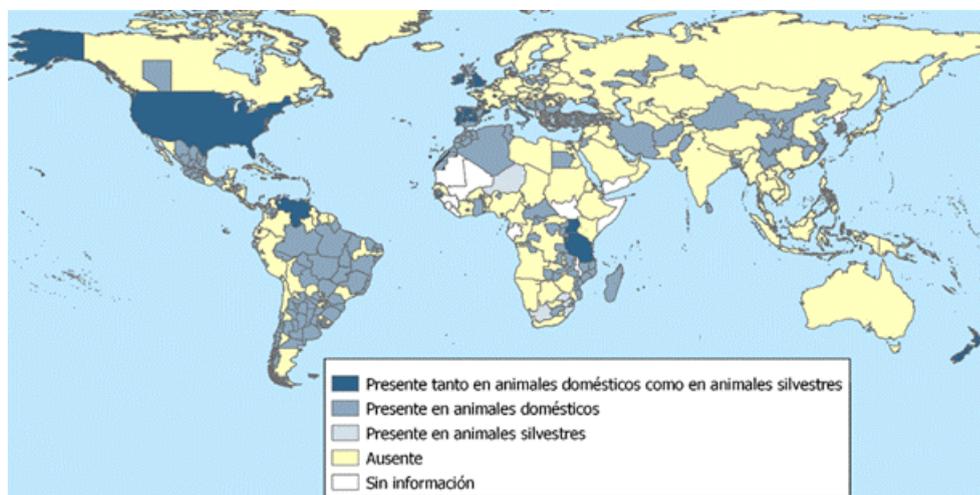


Figura 1. Estatus internacional de Paratuberculosis. Distribución mundial y aplicación de medidas de prevención y control según los datos de WAHIS de la tuberculosis bovina en 2017 y el primer semestre del 2018.

Datos recientes sugieren que hasta el 50% de los rebaños bovinos en Europa y América del Norte podrían estar infectados con MAP. Las consecuencias de esta infección incluyen pérdidas económicas significativas, como una reducción de hasta el 10% en la

producción de lácteos y, en casos graves, el sacrificio de animales infectados. Entre enero de 2017 y junio de 2018, un total de 82 (44%) de los 188 países y territorios que notificaron a la OIE su situación respecto a la tuberculosis bovina se habían visto afectados, lo que demuestra la amplia distribución de la enfermedad como se muestra en la **figura 1**.

Patogenia y transmisión

La transmisión de MAP ocurre principalmente por vía fecal-oral, a través de la ingestión de heces, calostro o leche contaminados de animales infectados como se muestra en la **figura 2**. En el intestino, las bacterias ingresan al huésped a través del íleon y yeyuno, utilizando las placas de Peyer como puerta de entrada. Desde allí, MAP cruza el epitelio y es fagocitada por macrófagos, donde sobrevive al evadir los mecanismos inmunitarios del huésped. Los animales infectados eliminan el patógeno principalmente en las heces, siendo esta la principal vía de contagio dentro de un rebaño. La eliminación fecal es mayor en vacas adultas, lo que constituye una fuente significativa de infección para los terneros. Además, MAP puede encontrarse en el calostro y la leche, aunque esta vía se considera menos importante. ^(15,16).

Un estudio reportó que la presencia de MAP en calostro de vacas clínicas y subclínicas alcanzó concentraciones de 250 UFC/ml y 24 UFC/ml, respectivamente, lo que subraya la necesidad de medidas de control como evitar la mezcla de calostro y el uso de sustitutos de leche en terneros. La transmisión intrauterina también ha sido documentada, con tasas de infección en terneros del 9 % y 39 % en madres con infecciones subclínicas y clínicas, respectivamente. Esta vía, aunque menos frecuente, refuerza la importancia de las estrategias de prevención en el manejo reproductivo. ⁽¹⁷⁾

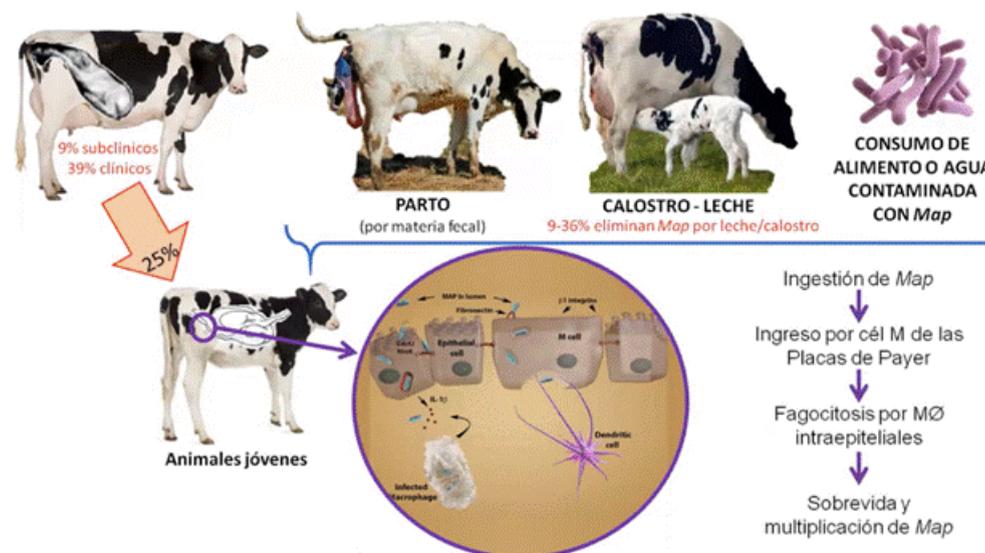


Figura 2. Método de transmisión de paratuberculosis. Esquema de la dinámica dentro y entre los huéspedes de la infección producida por *M. avium* *susp. paratuberculosis* en el ganado

La infección por MAP puede dividirse en tres etapas según las características inmunológicas y clínicas del huésped:

- **Etapla infectada:** MAP es captada inicialmente por las células M de las placas de Peyer y fagocitada por macrófagos en la submucosa intestinal permaneciendo en un estado latente, utilizando mecanismos como la inhibición de la acidificación de los fagosomas y la modulación de la respuesta inmune. Esto genera una inflamación granulomatosa focalizada que altera la estructura y función del tejido, sin eliminación fecal detectable en esta etapa.⁽¹⁷⁾
- **Etapla infecciosa:** Con la progresión de la infección, la respuesta inmune celular disminuye, permitiendo la diseminación de MAP en los tejidos y el inicio de la eliminación fecal intermitente o continua. La mayoría de los animales infecciosos en un rebaño eliminan cantidades bajas de MAP, aunque una minoría presenta eliminación alta. Esta etapa también se caracteriza por la producción de anticuerpos, marcando la transición hacia manifestaciones clínicas en algunos casos.⁽¹⁷⁾
- **Etapla afectada:** En esta etapa avanzada, la inflamación granulomatosa progresa, causando daño severo en la mucosa intestinal y ganglios linfáticos mesentéricos. Esto resulta en diarrea, pérdida de peso y enteropatía con pérdida de proteínas. Las lesiones macroscópicas típicas incluyen engrosamiento y corrugación del íleon distal, limitadas a la región ileocecal.

La evolución de la enfermedad está influenciada por factores como la carga bacteriana ingerida, el estado inmunológico del huésped y factores ambientales. Aunque MAP se asocia principalmente con rumiantes, su posible implicación zoonótica, particularmente en relación con la enfermedad de Crohn en humanos, sigue siendo objeto de debate científico.

Métodos de diagnóstico

La paratuberculosis en el ganado bovino se caracteriza por pérdida de peso y diarrea en las fases finales de la infección, aunque los animales infectados pueden parecer saludables durante meses o años. En el ganado, la diarrea puede ser constante o intermitente, y no contiene sangre, moco ni restos epiteliales; se expulsa sin tenesmo. A lo largo de semanas o meses, la diarrea se vuelve más grave, lo que conlleva una mayor pérdida de peso, desvanecimiento del color del pelaje y el desarrollo de edema ventral y submandibular debido a una enteropatía con pérdida de proteínas, lo que resulta en bajas concentraciones de proteína total y albúmina en el plasma, aunque los niveles de gammaglobulina son normales. En el ganado lechero y las cabras, la producción de leche puede disminuir o no alcanzar los niveles esperados. Los animales permanecen alertas, con temperatura y apetito generalmente normales, aunque puede aumentar el apetito

por beber agua. La enfermedad es progresiva y finalmente conduce a emaciación y muerte. ^(11,18)

Los cadáveres pueden estar demacrados, con pérdida de grasa pericárdica y perirrenal en casos más avanzados de caquexia. Las lesiones intestinales suelen ser leves, pero generalmente la pared distal del intestino delgado se encuentra engrosada, con una mucosa no ulcerada que se proyecta hacia pliegues transversales prominentes, y las lesiones pueden extenderse hasta el yeyuno y el colon. La linfangitis serosa y el agrandamiento de los ganglios linfáticos mesentéricos y otros ganglios linfáticos regionales son comunes. Histológicamente, se observa una enteritis granulomatosa difusa, caracterizada por la acumulación progresiva de macrófagos epitelioides y células gigantes en la mucosa y submucosa del intestino, con escasos a numerosos organismos acidorresistentes dentro de los macrófagos. ^(19,21)

La asociación de MAP con patologías humanas, como la enfermedad de Crohn y trastornos autoinmunes, resalta la necesidad de métodos de detección más sensibles y específicos ⁽²²⁾. Los métodos de diagnóstico actuales se clasifican en directos e indirectos descritos en el cuadro 1. Sin embargo, no existe una prueba de referencia considerada el estándar de oro debido a la baja sensibilidad o especificidad que presentan los métodos disponibles cuando se aplican a animales individuales. Las pruebas ELISA, el cultivo fecal o PCR y la patología son las pruebas de diagnóstico más comúnmente reportadas en todo el mundo, mientras que la inmunodifusión en gel de agar, el frotis fecal de Ziehl-Neelsen, la prueba de fijación del complemento y la prueba cutánea intradérmica son las menos utilizadas. ^(23,24)

Cuadro 1.

Métodos de diagnóstico de paratuberculosis.

Estadio	Características del estadio	Pruebas
Infección silente	En animales jóvenes asintomáticos, no se observa diseminación bacteriana ni se detectan anticuerpos circulantes.	§ ID con PPD Aviar § Gamma Interferón
Infección subclínica	Los animales enfermos podrían diseminar una cantidad limitada de bacterias, aun en ausencia de signos clínicos, mientras que la inmunidad mediada por células podría estar presente.	§ ID con PPD Aviar § Gamma Interferón § Cultivo § ELISA

Enfermedad clínica incipiente	Los animales presentan pérdida de peso y diarrea acuosa, inicialmente de carácter intermitente. En esta etapa, es posible detectar tanto las bacterias como los anticuerpos.	§ Cultivo § Ziehl Neelsen § ELISA § AGID
Enfermedad clínica avanzada	Los animales enfermos presentan diarrea acuosa, emaciación y edema submandibular. En esta etapa, eliminan una gran cantidad de micobacterias, con niveles elevados de anticuerpos y una respuesta inmunitaria celular escasa o inexistente.	§ Histopatología § Immunohistoquímica § PCR § LAMP

Referencias: ID: Prueba intradérmica; PPD: Derivado proteico purificado; ELISA: Ensayo de Inmunoabsorción Ligado a Enzima; AGID: Inmunodifusión en gel de agar; PCR: Reacción en cadena de la polimerasa; LAMP: Amplificación isotérmica mediada por un bucle.

El diagnóstico más cercano a un estándar de referencia en animales individuales es la evaluación post mortem. Los que con mayor frecuencia dan positivo en los cultivos incluyen íleon, yeyuno, válvula ileocecal y ganglios linfáticos mesentéricos. Este diagnóstico combina observación de lesiones macroscópicas con pruebas de laboratorio como histología, cultivo y PCR en tejidos diana. Sin embargo, su aplicación rutinaria en granjas o mataderos no es práctica como parte de estrategias de diagnóstico en rebaños o programas de control nacionales. ^(17,25)

El cultivo de muestras fecales es una técnica no letal y altamente específica para diagnosticar paratuberculosis. La sensibilidad del cultivo fecal varía entre el 60% y 72% según estudios de Collins et al., (2006)⁽²⁷⁾ y Alinovi et al., (2009)⁽²⁸⁾. Sin embargo, en animales infectados, la sensibilidad puede reducir un 23-29%. Norton et al.,(2010)⁽²⁶⁾ reportaron un aumento de sensibilidad del 32% en lactancia temprana (51,7%) frente a tardía (19,8%), atribuible al estrés del parto y la alta producción de leche. ^(17,26-28)

Las pruebas de PCR fecal muestran una mayor sensibilidad en kits comerciales, con estimaciones que varían entre 73,5% y 93%, en comparación con el cultivo fecal, cuya sensibilidad es más baja (60-72%). Factores como la extracción de ADN y los inhibidores en las heces pueden afectar la sensibilidad, pero los avances en técnicas como la separación magnética podrían mejorar la eficacia de la PCR.⁽¹⁷⁾ En cuanto a pruebas indirectas, la prueba ELISA, utilizada en suero y leche, tiene una sensibilidad entre 7% al 22% y una especificidad entre 85% al 100%, siendo útil en sistemas estacionales, aunque limitada en fases tempranas de la infección. La prueba de interferón gamma (IFN- γ), que detecta la respuesta inmune temprana, tiene una sensibilidad de 13% al 85% y una especificidad de 88% al 95%, mejorando su efectividad cuando se combina con otras pruebas como ELISA. A nivel de rebaño, las pruebas repetidas son clave para asegurar que un rebaño esté libre de infección. La

serología individual de todo el rebaño, utilizando ELISA en muestras de suero o leche, presenta una alta sensibilidad de rebaño entre 56% y 95%, aunque la especificidad de rebaño puede mejorar con pruebas confirmatorias como el cultivo fecal o PCR. La prueba de tanques de leche a granel, aunque económica y útil para identificar rebaños de alto riesgo, tiene una baja sensibilidad (8%-30%), mientras que la prueba de heces fecales agrupadas muestra la mayor sensibilidad. a nivel de rebaño (54%-94%), pero es más costosa y menos práctica.^(17,29-30)

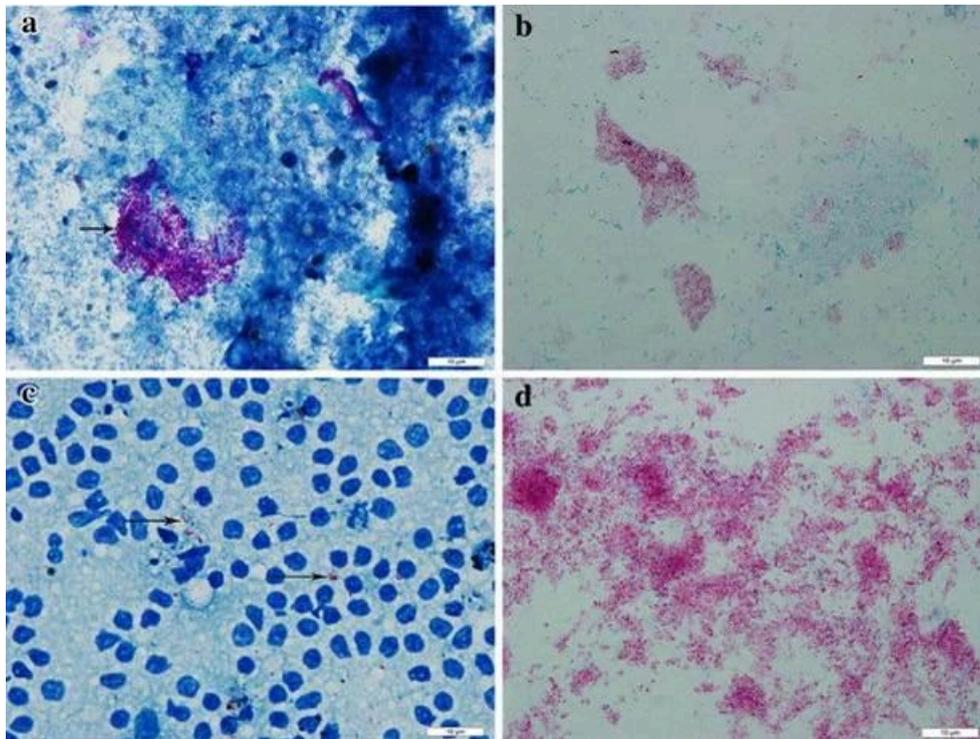


Figura 3. Morfología de las bacterias y los cambios patológicos en los tejidos. La tinción de Ziehl-Neelsen permite identificar bacilos ácido-alcohol resistentes en diversas muestras: a) Muestras fecales (flechas). b) Muestras de leche. c) Frotis de impresión de ganglios linfáticos mesentéricos (flechas). d) Frotis de una colonia purificada.⁽³¹⁾

Los inmunoensayos de flujo lateral (LFA) tienen el potencial de monitorear a gran escala la infección de paratuberculosis, detectando anticuerpos, microARN, proteínas o metabolitos relacionados con la infección a partir de pequeñas muestras. Aunque existen LFA para anticuerpos contra MAP, se espera el desarrollo de una nueva generación basada en biomarcadores del huésped con mayor sensibilidad para casos subclínicos y capacidad multiplex para detectar múltiples biomarcadores y etapas de infección. La producción en masa podría reducir significativamente los costos, haciendo más accesibles para veterinarios y productores. Los LFA también serían útiles para diagnosticar infecciones zoonóticas, como la tuberculosis bovina, en países con recursos limitados. Su futura implementación requerirá validación previa en cohortes de animales infectados de forma experimental y natural.⁽²⁹⁾

Estrategias control y prevención de la paratuberculosis

El control de la paratuberculosis bovina enfrenta desafíos significativos debido a la baja sensibilidad de las pruebas diagnósticas, resistencia de la bacteria en el ambiente y limitaciones en el uso de vacunas. Aunque su erradicación es compleja, estrategias como la detección temprana de animales infectados pueden reducir su prevalencia al limitar la diseminación del patógeno. Los programas de control varían ampliamente entre países con industrias lecheras y cárnicas. Sin embargo, persisten lagunas de conocimiento, especialmente sobre la efectividad de estos programas y las barreras que dificultan su adopción por parte de los agricultores, a pesar de más de un siglo de experiencia en su manejo.

El control de la paratuberculosis bovina requiere programas regulares de monitoreo mediante pruebas diagnósticas específicas, enfocadas en animales de alto riesgo o con síntomas clínicos, lo que permite identificar y aislar rápidamente a los infectados. Asimismo, es fundamental mejorar las prácticas de bioseguridad mediante la limpieza de instalaciones, la gestión de sitios destinados a animales infectados, la cuarentena de recién adquiridos y la compra de ganado certificado. La correcta gestión de áreas de pastoreo y la calidad del agua, a través de la rotación de pastizales y la reducción de la densidad poblacional, reduce la transmisión y contribuye al bienestar del ganado y la sostenibilidad económica. Los programas de control presentan diferencias en progreso y sostenibilidad según liderazgo, financiación y compromiso; en Europa han destacado por incentivos a agricultores y apoyo veterinario, mientras que en países como Australia y Canadá se han integrado en estrategias de bioseguridad más amplias, respaldadas por investigaciones y cooperación interinstitucional. Estas medidas, combinadas con la comunicación de resultados y un enfoque estratégico, garantizan la continuidad y efectividad del control de la enfermedad.⁽²⁰⁾

Medidas de manejo en la finca para mitigar el riesgo de propagación

La participación de ganaderos y veterinarios es esencial para comprender los desafíos y encontrar soluciones efectivas para el control de la paratuberculosis bovina. Un análisis basado en estudios empíricos señala que aspectos como la gestión de expectativas, limitaciones económicas y espaciales, el aprovechamiento gratuito y las relaciones complejas entre ambas partes afectan significativamente las decisiones en torno al manejo de la enfermedad. Las recomendaciones clave incluyen fortalecer las habilidades de comunicación de los veterinarios, gestionar las expectativas de los ganaderos e incentivarlos a implementar controles en las explotaciones. Además, dado que no existe un tratamiento satisfactorio, las prácticas de manejo deben enfocarse en reducir la exposición de los animales jóvenes al patógeno, mediante medidas acordadas entre administradores de rebaños, autoridades sanitarias y veterinarias, como resultado de evaluaciones de riesgos. Estas estrategias son fundamentales para avanzar en el control de la enfermedad, tanto en el Reino Unido como en otros contextos ganaderos.⁽³²⁾

- Implementación de medidas higiénicas en el parto, suministro de calostro y cuidado de los terneros.
- Disposición de un corral de parto separado para vacas infectadas con MAP.
- Separación inmediata de los terneros de sus madres tras el parto.
- Mantener a los terneros alejados de las instalaciones de vacas, asegurando espacios individuales.
- Uso exclusivo de herramientas separadas para la zona de los terneros.
- Establecimiento de un área separada para la preparación de la leche para los terneros, con un sistema de limpieza adecuado para los biberones, accesible solo a los cuidadores de los terneros y sin entrada de personas con botas expuestas al ambiente exterior.
- Ordeño cuidadoso del primer calostro utilizando equipos de ordeño limpio y específicos, para evitar la contaminación fecal del calostro.
- Alimentación directa con el primer calostro, exclusivamente de la madre del ternero.
- Eliminación de la leche no apta para consumo de vacas infectadas con MAP (de 1 a 5 días de leche), a través de estiércol líquido en la planta de biogás.
- Suministro de calostro mixto únicamente de vacas negativas a MAP para los terneros.

Medidas de gestión relativas al movimiento de animales y el manejo de excretos

- Cierre del rebaño, asegurando que solo las novillas criadas en la finca sean incorporadas al rebaño lechero.
- Identificación de vacas MAP-positivas y vacas con anticuerpos específicos de MAP mediante el uso de una banda para el cuello diferenciada.
- Documentación de los resultados de las pruebas en el software de gestión del rebaño.
- Exclusión de vacas MAP-positivas y vacas con anticuerpos MAP específicos de la cría futura.
- Eliminación inmediata de animales con alto o muy alto desprendimiento de plumas.

Vacunación

La formulación de las vacunas contra MAP varía según el fabricante y está sujeta a regulaciones estrictas en muchos países. En general, su uso se restringe a explotaciones con alta prevalencia de la enfermedad y requiere la aprobación de agencias reguladoras.

Aunque la vacunación en terneros menores de un mes puede reducir la incidencia de casos clínicos, no evita la aparición de nuevas infecciones en las granjas.^(33,34)

En la industria caprina, particularmente en España y Australia, la vacunación ha demostrado ser eficaz para prolongar la vida productiva de los rebaños. Sin embargo, en el ganado vacuno, el uso de vacunas de células completas inactivadas y adyuvadas con aceite mineral puede generar complicaciones, como la formación de granulomas de tamaño variable en el sitio de inoculación y falsos positivos en pruebas de tuberculina. Además, la autoinoculación accidental representa un riesgo grave, ya que puede causar reacciones agudas, desprendimiento de piel y afecciones crónicas como sinovitis y tendinitis.^(33,34)

El método de administración de las vacunas juega un papel fundamental en su eficacia. Actualmente, éstas se administran de forma subcutánea, a pesar de que la transmisión natural de MAP ocurre por vía oral. Estudios recientes han demostrado que la vacunación oral no solo resulta más efectiva, sino que evita interferencias con el diagnóstico de tuberculosis bovina. En este contexto, la vacuna oral BacA ha mostrado protección localizada en el íleon y la válvula ileocecal, aunque no en yeyuno, lo cual se correlaciona con niveles elevados de células inmunitarias periféricas con características proinflamatorias y memoria.^(34,35)

Conclusiones

La paratuberculosis bovina continúa siendo un reto sanitario de gran impacto global, especialmente en la producción ganadera. La naturaleza subclínica de la enfermedad en sus primeras etapas, junto con la resistencia del patógeno y la falta de pruebas diagnósticas completamente eficaces, dificultan el manejo y control de la enfermedad. Sin embargo, los avances en técnicas diagnósticas como PCR, ELISA y la prueba de flujo lateral muestran prometedoras oportunidades para una detección más temprana y masiva, especialmente en entornos con recursos limitados.

En cuanto al control, es necesario implementar enfoques multifacéticos que incluyan la mejora de la bioseguridad en las granjas, el monitoreo de animales en riesgo y la adopción de programas estructurados de control, como los existentes en países con alta prevalencia. No obstante, las limitaciones de las vacunas disponibles resaltan la necesidad urgente de continuar la investigación en nuevas alternativas, como las vacunas orales, que podrían ofrecer soluciones más efectivas y evitar interferencias diagnósticas.

El impacto económico y sanitario de la paratuberculosis subraya la necesidad de estrategias más robustas y eficientes para su control y erradicación. Aunque se han realizado avances significativos en el manejo de la enfermedad, la erradicación sigue

siendo un desafío debido a la persistencia del patógeno y las limitaciones de los métodos actuales. Por lo tanto, es crucial seguir investigando en áreas como la mejora de las herramientas diagnósticas, el desarrollo de nuevas vacunas y estrategias de manejo en granjas, con el fin de reducir la prevalencia de la enfermedad y mitigar su impacto en la ganadería.

Bibliografía

1. Rasmussen P, Brkema HW, Mason S, Beaulieu E, Hall DC. Economic losses due to Johne's disease (paratuberculosis) in dairy cattle. *J.Dairy Sci.* 2021 Mar;104(3):3123-43. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002203001000461>
2. Buitrago-López A, Castro-Forero S, Fernández-Jiménez M, Pulido-Medellín M. Paratuberculosis bovina, revisión de literatura. *Revista Habitus: Semilleros de investigación.* 2021 Aug 17;1(2): e12434. Doi: 10.19053/22158391.12434
3. Mallikarjunappa S, Brito LF, Pant SD, Schenkel FS, Meade KG, Karrow NA. Johne's Disease in Dairy Cattle: An Immunogenetic Perspective. *Front Vet Sci.* 2021 Aug 26;8. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.718987/full>
4. Rasmussen P, Barkema HW, Osei PP, Taylor J, Shaw AP, Conrady B, et al. Global losses due to dairy cattle diseases: A comorbidity-adjusted economic analysis. *J Dairy Sci.* 2024 Sep;107(9):6945–70. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002203022400821X>
5. Charlton GL, Churches J, Bleach ECL, Thorup VM. Behaviour of Cows with Johne's Disease (Paratuberculosis). *Ruminants.* 2024 Nov 11;4(4):533–42. Available from: <https://www.mdpi.com/2673-933X/4/4/37>
6. Bo M, Arru G, Niegowska M, Erre GL, Manchia PA, Sechi LA. Association between Lipoprotein Levels and Humoral Reactivity to Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis in Multiple Sclerosis, Type 1 Diabetes Mellitus and Rheumatoid Arthritis. *Microorganisms.* 2019 Oct 8;7(10):423. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2607/7/10/423>
7. Fechner K, Dreymann N, Schimkowiak S, Czerny C-P, Teitzel J. Efficacy of dairy on-farm high-temperature, short-time pasteurization of milk on the viability of Mycobacterium avium ssp. paratuberculosis. *J Dairy Sci.* 2019 Dec;102(12):11280–90. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030219308458>
8. Mazzetto AM, Bishop G, Styles D, Arndt C, Brook R, Chadwick D. Comparing the environmental efficiency of milk and beef production through life cycle assessment of interconnected cattle systems. *J Clean Prod.* 2020 Dec;277:124108. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124108
9. Salmon GR, MacLeod M, Claxton JR, Pica Ciamarra U, Robinson T, Duncan A, et al. Exploring the landscape of livestock 'Facts'. *Glob Food Sec.* 2020 Jun; 25:100329. doi: 10.1016/j.gfs.2019.100329
10. Maja MM, Ayano SF. The Impact of Population Growth on Natural Resources and Farmers' Capacity to Adapt to Climate Change in Low-Income Countries. *Earth Systems and Environment.* 2021 Jun 16;5(2):271–83. doi:10.1007/s41748-021-00209-6

11. Pallás-Guzmán Gabriel, Quezada-TristánTeódulo, Chávez-Gris Gilberto, Maldonado-Castro Edith, Chávez-González Leticia, García-Munguía Carlos. Identificación del *Mycobacterium avium* subsp. paratuberculosis y su seroprevalencia en rebaños ovinos de Aguascalientes. *Abanico Veterinario*. 2021 Jan 2;11. Available from: <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-veterinario/article/view/298>
12. Hodgeman R, Mann R, Savin K, Djitro N, Rochfort S, Rodoni B. Molecular characterisation of *Mycobacterium avium* subsp. paratuberculosis in Australia. *BMC Microbiol*. 2021 Apr 1;21(1):101. Available from: <https://bmcmicrobiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12866-021-02140-2>
13. Roller M, Hansen S, Knauf-Witzens T, Oelemann WMR, Czerny C-P, Abd El Wahed A, et al. *Mycobacterium avium* Subspecies paratuberculosis Infection in Zoo Animals: A Review of Susceptibility and Disease Process. *Front Vet Sci*. 2020 Dec 23;7. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2020.572724/full>
14. Guzman-Barragan B, Monroy-Roberto YA, Tobón J, Blanco-Angarita LC, Guzman YL. Seroprevalencia y factores de riesgos asociados a *Mycobacterium avium* subsp. paratuberculosis en bovinos de Villavicencio, Colombia. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2023 Apr 28;34(2):e22959. doi: 10.15381/rivep.v34i2.22959
15. Bharath MN, Gupta S, Vashistha G, Ahmad S, Singh SV. Bioprospective Role of *Ocimum sanctum* and *Solanum xanthocarpum* against Emerging Pathogen: *Mycobacterium avium* Subspecies paratuberculosis: A Review. *Molecules*. 2023 Apr 15;28(8):3490. Available from: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/8/3490>
16. Biemans F, Tratalos J, Arnoux S, Ramsbottom G, More SJ, Ezanno P. Modelling transmission of *Mycobacterium avium* subspecies paratuberculosis between Irish dairy cattle herds. *Vet Res*. 2022 Dec 22;53(1):45. Available from: <https://veterinaryresearch.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13567-022-01066-5>
17. Field NL, McAloon CG, Gavey L, Mee JF. *Mycobacterium avium* subspecies paratuberculosis infection in cattle – a review in the context of seasonal pasture-based dairy herds. *Ir Vet J*. 2022 Dec 20;75(1):12. Available from: <https://irishvetjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13620-022-00217-6>
18. Morrison R, Hanks J, Orpin PG, Strain S, Taylor EN, Rose DC. Challenges for the management of Johne's disease in the UK: Expectation management, space, 'free riding', and vet-farmer communication. *Prev Vet Med*. 2024 Oct;231:106295. doi: 10.1016/j.prevetmed.2024.106295

19. Bulla-Castañeda DM, Díaz-Anaya AM, Garcia-Corredor DJ, Pulido-Medellín MO. Serodiagnóstico de Paratuberculosis en bovinos del municipio de Sogamoso, Boyacá (Colombia). *Entramado*. 2020 Jun 6;16(2):312–20. doi: 10.18041/1900-3803/entramado.2.6758
20. Weber MF, Kelton D, Eisenberg SWF, Donat K. Progress in Paratuberculosis Control Programmes for Dairy Herds. *Animals*. 2024 Apr 7;14(7):1127. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/7/1127>
21. Martínez-Flores RB, Damián Sandoval M, De la Colina Flores FI, Rochin Berumen FL. Presencia de paratuberculosis en rumiantes en el estado de Zacatecas a través de estudio histopatológico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2023 Apr 21;7(2):3967–79. doi: 10.37811/cl_rcm.v7i2.5623
22. Dane H, Stewart LD, Grant IR. Culture of *Mycobacterium avium* subsp. paratuberculosis: challenges, limitations and future prospects. *J Appl Microbiol*. 2023 Jan 23;134(1). Available from: <https://academic.oup.com/jambio/article/doi/10.1093/jambio/lxac017/6887844>
23. Field NL, Mee JF, McAloon CG. Characteristics (sensitivity and specificity) of herd-level diagnostic tests for *Mycobacterium avium* subspecies paratuberculosis in cattle — A systematic review. *The Veterinary Journal*. 2022 Jan;279:105786. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1090023322000016>
24. Paolo LA Di, Sosa PS, Pinedo MFA, Romero MA, Peralta LM, Travería GE. Paratuberculosis bovina: asociación entre el índice de urea y la densidad óptica del suero en la técnica de Elisa indirecta Bovine paratuberculosis: association/ between the urea index and the optical density of serum in the indirect Elisa technique. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 2021;4(1):1298–306. doi: 10.34188/bjaerv4n1-105
25. Whittington R, Donat K, Weber MF, Kelton D, Nielsen SS, Eisenberg S, et al. Control of paratuberculosis: who, why and how. A review of 48 countries. *BMC Vet Res*. 2019 Dec 13;15(1):198. Available from: <https://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-019-1943-4>
26. Norton S, Johnson WO, Jones G, Heuer C. Evaluation of Diagnostic Tests for Johne's Disease (*Mycobacterium Avium* Subspecies Paratuberculosis) in New Zealand Dairy Cows. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2010 May 1;22(3):341–51. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/104063871002200301>
27. Collins MT, Gardner IA, Garry FB, Roussel AJ, Wells SJ. Consensus recommendations on diagnostic testing for the detection of paratuberculosis in cattle in the United States. *J Am Vet Med Assoc*. 2006 Dec 15;229(12):1912–9. Available from: <https://avmajournals.avma.org/view/journals/javma/229/12/javma.229.12.1912.xml>

28. Alinovi CA, Ward MP, Lin TL, Moore GE, Wu CC. Real-time PCR, compared to liquid and solid culture media and ELISA, for the detection of *Mycobacterium avium* ssp. paratuberculosis. *Vet Microbiol.* 2009 Apr;136(1-2):177-9. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378113508004902>
29. Alonso-Hearn M, Ballesteros A, Navarro A, Badia-Bringué G, Casais R. Lateral-flow assays for bovine paratuberculosis diagnosis. *Front Vet Sci.* 2023 Oct 12;10. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2023.1257488/full>
30. Huiying Z, Mingfeng C, Wei C, Shuiyun C, Yuchen L, Honghai W, et al. Prevalence of bovine paratuberculosis in Chinese cattle populations: a meta-analysis. *Front Cell Infect Microbiol.* 2024 Nov 21;14. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcimb.2024.1424170/full>
31. Yue R, Liu C, Barrow P, Liu F, Cui Y, Yang L, et al. The isolation and molecular characterization of *Mycobacterium avium* subsp. paratuberculosis in Shandong province, China. *Gut Pathog.* 2016 Dec 22;8(1):9. doi: 10.1186/s13099-016-0092-6
32. Donat K, Einax E, Rath D, Klassen A. Successful Control of *Mycobacterium avium* Subspecies paratuberculosis Infection in a Dairy Herd within a Decade—A Case Study. *Animals.* 2024 Mar 21;14(6):984. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/6/984>
33. Stefanova EP, Paz-Sánchez Y, Quesada-Canales Ó, Quintana-Montesdeoca M del P, Espinosa de los Monteros A, Ramírez AS, et al. Caprine Paratuberculosis Seroprevalence and Immune Response to Anti-*Mycobacterium avium* Subspecies paratuberculosis Vaccination on the Canary Islands, Spain. *Vet Sci.* 2024 Aug 23;11(9):388. doi: 10.3390/vetsci11090388
34. Eshraghisamani R, Facciuolo A, De Buck J. Oral paratuberculosis vaccine efficacy and mucosal immunity in cattle. *Vaccine.* 2024 Dec;42(26):126447. doi: 10.1016/j.vaccine.2024.126447
35. Velázquez-Morales JV, Santillán-Flores MA, Córdova-López D, Cortez-Romero C. Importancia y generalidades de las pruebas de diagnóstico de Paratuberculosis. *Agro-Divulgación.* 2024 Oct 22;4(6). doi: 10.54767/ad.v4i6.384

Conflicto de Intereses

Los autores declaran, mediante planilla firmada, la ausencia de conflictos de intereses en el trabajo enviado.

CRedit

Los dos autores contribuyeron a la concepción y el diseño del estudio. La preparación del material, la recopilación y el análisis de datos fueron realizados por **Diego M.**

Balseca y Oreste La O León. El primer borrador del manuscrito fue escrito por **Diego M. Balseca** y los dos autores comentaron las versiones anteriores del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final."

Supervisión: **Diego M. Balseca y Oreste La O León**

Agradecimientos:

Se agradece al claustro de profesores de la Maestría en Zootecnia de la Facultad de Agrociencias. Universidad Técnica de Manabí.