

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA



Evaluación del nivel de exposición a tuberculosis en primates no humanos bajo cuidado humano en el Ex parque Zoológico Nacional de El Salvador.

POR

GABRIELA ALEJANDRA PÉREZ PÉREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA



Evaluación del nivel de exposición a tuberculosis en primates no humanos bajo cuidado humano en el Ex parque Zoológico Nacional de El Salvador.

POR

GABRIELA ALEJANDRA PÉREZ PÉREZ

RESUMEN DE PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. M.SC. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

ING. AGR. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO

ING. AGR. M.SC. EDGAR GEOVANNY REYES MELARA

JEFA DEL DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA

MVZ. MSP. MARÍA JOSÉ VARGAS ARTIGA

ASESOR

MVZ. M.SC. CARLOS DAVID LÓPEZ SALAZAR

TRIBUNAL CALIFICADOR

MVZ. M.SC. CARLOS DAVID LÓPEZ SALAZAR

MVZ. RICARDO ERNESTO GAMERO GUANDIQUE

MVZ. RAMÓN OVIEDO ZELAYA

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADO DEL DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA

MVZ. FERNANDO JAVIER FLORES ALVARENGA

RESUMEN

La tuberculosis es una enfermedad infecciosa causada por bacterias del género *Mycobacterium*, cuya detección requiere la aplicación de diversas técnicas diagnósticas complementarias. El examen microscópico directo o baciloscopía es fundamental para identificar casos de tuberculosis pulmonar y evaluar la eficacia del tratamiento. Mediante tinciones como Ziehl-Neelsen o fluorescentes, se observan los bacilos ácido-alcohol resistentes, caracterizados por su pared rica en lípidos y ácidos micólicos, que les confiere su resistencia característica. En las coloraciones de Ziehl-Neelsen, las bacterias aparecen rosadas sobre un fondo azul, y su reporte se realiza de forma semicuantitativa tras examinar múltiples campos microscópicos. Otra herramienta importante es la prueba intradérmica de la tuberculina (TST), utilizada para detectar la exposición a *Mycobacterium tuberculosis* o *M. bovis* en mamíferos domésticos y silvestres. Esta prueba mide la reacción cutánea al derivado proteico purificado (PPD) y puede aplicarse como prueba única o comparativa, con variaciones en la interpretación según la especie. Sin embargo, puede arrojar falsos positivos o negativos debido a reacciones cruzadas con micobacterias no patógenas, por lo que se recomienda confirmarla con pruebas complementarias. La técnica radiográfica, por su parte, resulta esencial para el diagnóstico clínico, ya que permite visualizar las lesiones pulmonares características de la enfermedad.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para culminar esta etapa de mi formación profesional.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la institución que hizo posible la realización de esta pasantía de investigación, por abrirme sus puertas y permitirme fortalecer mis conocimientos y habilidades en el ámbito científico.

Agradezco profundamente a mi tutor y asesores, por su orientación, paciencia, acompañamiento constante y valiosos aportes académicos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación exitosa de este trabajo.

Asimismo, extiendo mi gratitud al personal técnico y colaboradores que contribuyeron directa o indirectamente en la ejecución de las actividades de investigación, por su disposición y apoyo durante todo el proceso.

A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante, que fueron el motor para seguir adelante incluso en momentos desafiantes.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, formaron parte de esta experiencia académica y profesional, contribuyendo a mi crecimiento personal y científico.

INDICE

RESUMEN	1
AGRADECIMIENTOS	2
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
MARCO TEÓRICO	3
Tuberculosis	3
Genero Mycobacterium	4
Fisiología, metabolismo y cultivo	4
Resistencia a los agentes físicos y químicos	5
Complejo Mycobacterium tuberculosis.	6
Métodos directos	10
Examen microscópico directo	10
Métodos indirectos	11
Prueba intradérmica de tuberculina	11
Técnica radiográfica	12
Primates no humanos	13
METODOLOGÍA	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	30

Índice de cuadros

Cuadro 1. Grado de reacción a inoculación de PPD.....	17
Cuadro 2. Criterio semicuantitativo utilizado en baciloscopia.....	19

INTRODUCCIÓN

El complejo *Mycobacterium tuberculosis* es primariamente un patógeno de los mamíferos, aunque se han descrito infecciones en animales domésticos y silvestres que están en estrecho contacto con personas, especialmente primates no humanos, elefantes y aves psitácidas dentro de zoológicos o en exhibiciones; Esta bacteria puede transmitirse entre animales y desde éstos al ser humano, lo que implica un importante potencial zoonótico para veterinarios, personal de zoológicos, circos y visitantes.

La tuberculosis en los animales generalmente es una enfermedad crónica que puede desarrollar signos clínicos después de varios meses o incluso años desde la infección inicial. Los animales infectados pueden permanecer sin síntomas durante períodos prolongados y luego reactivar la enfermedad, especialmente si están inmunosuprimidos. Aunque poco frecuente, pueden ocurrir infecciones agudas o hiperagudas, principalmente en animales con condiciones subyacentes como la inmunosupresión. La transmisión de la enfermedad suele ocurrir por inhalación, ingesta o contacto directo con material infectado a través de mucosas o heridas en la piel. El riesgo de infección puede variar según la dosis de exposición, la vía de infección y factores relacionados con el manejo de los animales. Los animales jóvenes, inmunosuprimidos, gestantes o malnutridos son considerados más susceptibles a la infección. (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

Actualmente existen informes de infección en animales silvestres de vida libre, en los cuales se ha aislado *M. tuberculosis* y que viven en colonias cercanas a asentamientos humanos. Por este motivo, el desarrollo de actividades deportivas y ecoturísticas puede constituir un factor de riesgo para la fauna silvestre, así como también para las personas que las practican y que pudiesen exponerse a estas fuentes animales de la infección (Alexander et al. 2002). La práctica de visitar áreas remotas para observar y estudiar especies en peligro puede amenazar tales poblaciones, especialmente a aquellas de primates no humanos, que son particularmente vulnerables al bacilo de la tuberculosis (Montali et al. 2001).

OBJETIVOS

General:

Determinar el nivel de exposición a *Mycobacterium bovis* y *Mycobacterium avium* en primates en cautiverio del Ex parque Zoológico Nacional de El Salvador y la divulgación de los resultados.

Específicos:

Identificar la presencia de bacilos ácido alcohol resistentes en muestras de hisopados traqueales provenientes de primates no humanos reactivos a la prueba de tuberculina.

Evidenciar la presencia o ausencia de tuberculosis en primates no humanos bajo cuidado humano en el Ex parque Zoológico Nacional de El Salvador

Evaluar el riesgo de exposición a la enfermedad de los trabajadores, visitantes y otros animales en cautiverio del Ex parque Zoológico Nacional de El Salvador.

MARCO TEÓRICO

Tuberculosis

En mamíferos es una enfermedad bacteriana crónica que afecta tanto a animales como a humanos y es causada por miembros del complejo *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC). Algunas variantes importantes son *M. bovis*, *M. caprae* y *M. tuberculosis*, tiene una distribución mundial. Es una de las principales enfermedades infecciosas que afectan al ganado vacuno, otros animales domésticos y algunas poblaciones de animales salvajes, lo que la convierte en un importante obstáculo para el comercio internacional (Michel et al., 2010). La tuberculosis zoonótica, resultante de la transmisión de estos patógenos al hombre, constituye un problema significativo de salud pública debido a su potencial de transmisión entre especies y su impacto en la salud humana (Müller et al., 2013).

La exposición al agente en forma de aerosol es la vía de infección más frecuente, pero también se produce la infección por ingestión de material contaminado. Las lesiones tuberculosas características se producen con mayor frecuencia en los pulmones y en los ganglios linfáticos retrofaríngeos, bronquiales y mediastínicos. La tuberculosis suele ser una enfermedad crónica, con signos clínicos que pueden aparecer después de varios meses o años (Cousins & Florisson, 2005). La infección suele ser subclínica cuando los signos clínicos no son específicamente distintivos y pueden incluir debilidad, anorexia, emaciación, disnea, linfadenomegalia y tos, en particular con la tuberculosis avanzada (*Bovine Tuberculosis*, n.d.). La tuberculosis en el ganado bovino, caprino y en los ciervos suele diagnosticarse en el animal vivo mediante pruebas de la respuesta inmune celular (prueba cutánea o prueba del interferón gamma) (Monaghan et al., 1994).

El enzimoimmunoanálisis (ELISA) y las pruebas de flujo lateral para detectar anticuerpos séricos pueden ser útiles en la fauna salvaje (Meiring et al., 2018; Müller et al., 2013). Tras la muerte, la infección se diagnostica mediante técnicas de necropsia, histopatológicas, bacteriológicas y de detección de ácidos nucleicos (Ramos et al., 2015).

Genero Mycobacterium

El orden de los Actinomycetales incluye la familia Mycobacteriaceae, Actinomycetaceae, Streptomycetaceae y Nocardiaceae. La familia Mycobacteriaceae contiene un solo género, el género Mycobacterium. Dentro del género Mycobacterium se han descrito más de 120 especies de micobacterias diferentes.

Este género está integrado por bacilos largos de 3 a 5µm de longitud o curvos en forma de maza, inmóviles, no esporulados, con abundantes gránulos citoplasmáticos, que poseen una resistencia mayor a la tinción por los colorantes comunes, pero una vez teñidos son resistentes a la decoloración con una mezcla de alcohol ácido. Desde el punto de vista de los requerimientos atmosféricos algunos son aerobios y otros microaerófilos. En cuanto a la velocidad de crecimiento algunas especies son de crecimiento rápido y otras lento.

Se destaca en su estructura una gran riqueza en lípidos (20-60%). El contenido de bases de guanina más citosina en la molécula de ADN es de 62 a 70 moles %. Se caracterizan por ser bacterias ácido-alcohol resistentes (BAAR) debido al alto contenido en lípidos que tienen en su pared celular. Este hecho impide que penetren los colorantes habituales de anilina, por lo que no se pueden ver en la tinción de Gram, y hace que para poder visualizarlas sean necesarios colorantes especiales (arilmetanos), pero que una vez teñidas no se decoloran con una mezcla de alcohol y ácido. Las micobacterias son capaces de sobrevivir durante semanas o meses sobre objetos inanimados, siempre que estén protegidas de la luz solar, y son más resistentes a los ácidos, álcalis y desinfectantes que el resto de las bacterias no formadoras de esporas. Resisten la desecación y la congelación, pero la luz ultravioleta y el calor (>65º C durante 30 minutos) las inactiva. (Dorronsoro I. & Torroba, 2007)

Fisiología, metabolismo y cultivo

Presentan una gran variabilidad en su metabolismo, existiendo micobacterias de crecimiento rápido que crecen en menos de tres días en medios simples, y micobacterias de crecimiento lento que necesitan medios más ricos y pueden tardar semanas en crecer. Un ejemplo extremo

es *M. leprae*, que no se ha logrado cultivar en medios artificiales. Los medios de cultivo para micobacterias pueden ser sólidos o líquidos. Los medios sólidos incluyen el agar y el medio de huevos Lowenstein-Jensen, siendo este último el más utilizado. Las micobacterias de crecimiento lento, como *M. tuberculosis*, tardan de tres a cinco semanas en formar colonias visibles; la mayoría de micobacterias, incluyendo *M. tuberculosis*, son aerobias estrictas, aunque *M. bovis* es microaerófila y requiere de una atmósfera con 5-10% de CO₂.

La temperatura óptima de crecimiento para *M. tuberculosis* es de 37°C. Las micobacterias tienen necesidades nutricionales muy variadas. Algunas pueden crecer en entornos simples, mientras que otras, como *M. leprae*, no pueden cultivarse en medios artificiales. Las micobacterias son aerobias estrictas y una reducción en la concentración de oxígeno puede disminuir significativamente su tasa de crecimiento. En medios sintéticos simples, las micobacterias pueden crecer, pero para aislarlas de materiales clínicos se necesitan medios selectivos sólidos que contengan nutrientes e inhibidores del crecimiento de otras bacterias.

Las micobacterias crecen muy lentamente, necesitando de 10 a 20 días para que las colonias sean visibles. Algunas especies, como *M. fortuitum*, crecen más rápido y pueden formar colonias en 3 a 7 días. Las micobacterias patógenas no crecen a temperatura ambiente y presentan diferencias en la apariencia de sus colonias, como las rugosas y lisas del complejo *M. avium-intracellulare*, o las colonias elevadas y verrugosas de *M. tuberculosis*. El uso de medios semisólidos está en declive y la mayoría de los laboratorios usan sistemas automatizados que cultivan las muestras en medios líquidos, detectando la presencia de micobacterias en 5 a 14 días (Dorronsoro I. & Torroba, 2007).

Resistencia a los agentes físicos y químicos

Las micobacterias son notablemente resistentes a la desecación y pueden mantenerse viables en esputo seco durante seis a ocho meses si están protegidas de la luz solar directa. Aunque no forman esporas, estas bacterias pueden sobrevivir hasta 12 años en cultivos secos a 37°C. En presencia de luz solar, las micobacterias en cultivo mueren en aproximadamente dos horas,

mientras que, en esputo, su resistencia a la luz solar es de 20 a 30 horas y hasta seis a ocho meses sin exposición directa.

En términos de resistencia a desinfectantes y condiciones adversas, muestran una mayor resistencia que otras bacterias vegetativas. Son sensibles a la pasteurización, siendo destruidas a 62°C durante 30 minutos o a 72°C durante 16 segundos. Aunque son resistentes a muchos desinfectantes, pueden ser eliminadas por agentes específicos como el formaldehído, el glutaraldehído, el fenol y sus derivados, etanol al 70%, y en menor medida, los hipocloritos. Esta alta resistencia química se debe a la hidrofobicidad de sus envolturas celulares, lo que se aprovecha para la descontaminación de muestras clínicas, como el esputo, que a menudo contienen otras bacterias contaminantes (Dorronsoro I. & Torroba, 2007).

Complejo *Mycobacterium tuberculosis*.

La tuberculosis es crónica y se caracteriza por la formación de granulomas en mamíferos, incluidos humanos, causada por patógenos del complejo *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC), que son bacilos grampositivos resistentes al ácido. La taxonomía de los microorganismos del MTBC ha evolucionado, y análisis genómicos recientes sugieren que se agrupan ahora bajo la especie *M. tuberculosis*. Se considera que *M. africanum*, *M. bovis*, *M. caprae*, *M. microti* y *M. pinnipedii* son variantes de *M. tuberculosis*, mientras que *M. canettii*, *M. mungi* y *M. orygis* se reconocen como cepas de esta misma especie. (Michel et al., 2010; Müller et al., 2013).

Aunque hay evidencia significativa de que los diferentes miembros del complejo *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC) tienden a asociarse con ciertos hospedadores, actualmente se reconoce que todas las especies de mamíferos son susceptibles a la tuberculosis. La infección puede provocar una enfermedad casi idéntica en cualquier especie hospedadora (Oreiby et al., 2022). Los principales agentes patógenos asociados a los animales domésticos y salvajes son *M. bovis*, *M. caprae*, *M. microti*, *M. orygis* y *M. pinnipedii* (*Mycobacterium Tuberculosis Complex - an Overview | ScienceDirect Topics*, n.d.). La exposición

humana a cualquier miembro del MTBC (aparte de la cepa de la vacuna BCG) puede dar lugar a una infección zoonótica (Asante-Poku et al., n.d.).

La Organización Mundial de Sanidad Animal (n.d.) indica que los miembros del complejo *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC) comprenden diversas especies con distinta afinidad por los hospedadores. *M. tuberculosis* y *M. africanum* son principalmente patógenos humanos, aunque también pueden infectar animales. Otras especies, como *M. canettii*, *M. mungi*, *M. suricattae* y *M. microti*, presentan una distribución más restringida y se asocian a hospedadores específicos como mangostas, suricatas, gatos y jabalíes. Entre las especies de mayor relevancia para la salud pública destacan *M. bovis*, *M. caprae* y *M. tuberculosis* por su amplio rango de hospedadores y su potencial zoonótico (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

La tuberculosis en los animales generalmente es una enfermedad crónica que puede desarrollar signos clínicos después de varios meses o incluso años desde la infección inicial. Los animales infectados pueden permanecer sin síntomas durante períodos prolongados y luego reactivar la enfermedad, aunque poco frecuente, pueden ocurrir infecciones agudas o hiperagudas, principalmente en animales con condiciones subyacentes como la inmunosupresión.

La transmisión del complejo *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC) en el ganado ocurre por inhalación de gotitas respiratorias infectadas, por ingestión de leche contaminada, alimentos, agua, o por contacto con fluidos corporales infectados como exudados, orina, heces, secreciones vaginales o esperma. Una vez inhalados, los bacilos son fagocitados por los macrófagos alveolares. Dependiendo de factores como la dosis de exposición y la vía de infección, así como características del agente patógeno y del hospedador, la infección puede ser eliminada por completo por los macrófagos o quedar quiescente.

En casos donde la infección persiste, el microorganismo puede proliferar activamente, dando lugar a lesiones focales o diseminadas caracterizadas por macrófagos muertos y células linfocíticas. Con el tiempo, estas células se fusionan formando células gigantes multinucleadas rodeadas de una zona central necrótica con caseificación o calcificación, lo que resulta en la

formación del clásico "tubérculo" envuelto por una cápsula fibrosa (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

Las lesiones granulomatosas producidas por el complejo *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC) presentan una notable variabilidad morfológica y de tamaño, y suelen estar encapsuladas. En el ganado bovino y otros mamíferos, estas lesiones pueden ser caseosas, caseo-calcáreas o calcificadas, mientras que, en especies con progresión rápida, como los ciervos, pueden observarse abscesos purulentos en lugar de los tubérculos clásicos. La localización de las lesiones depende de la vía de infección: la inhalación se asocia con afectación pulmonar y de los ganglios linfáticos cráneo-torácicos, mientras que la ingestión favorece lesiones en órganos abdominales y ganglios mesentéricos. En casos avanzados, como la tuberculosis miliar, se desarrollan pequeños focos diseminados por todo el organismo, indicando una infección generalizada (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

En los casos avanzados, los ganglios linfáticos superficiales pueden aumentar de tamaño y romperse, mientras que el agrandamiento de ganglios profundos puede causar obstrucciones respiratorias o digestivas.

Los animales con tuberculosis respiratoria presentan tos productiva intermitente, agravada por el frío o el esfuerzo y en etapas tardías desarrollan disnea o taquipnea. También pueden observarse trastornos gastrointestinales como diarrea o estreñimiento. En los cérvidos y camélidos, la enfermedad progresa más rápidamente y suele ser multiorgánica, mientras que en los elefantes los signos clínicos aparecen solo en fases muy avanzadas (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

El diagnóstico antemortem de la tuberculosis en animales puede realizarse mediante métodos directos para detectar el microorganismo o mediante métodos indirectos que evalúan la respuesta inmunitaria, como la prueba de tuberculina intradérmica (TST), la prueba de liberación de interferón gamma (IGRA) y pruebas de anticuerpos, las cuales pueden complementarse con radiografías o ecografías en especies como primates no humanos y animales de compañía.

Sin embargo, debido al carácter crónico de la infección y la ausencia de signos clínicos claros, muchos casos se confirman postmortem durante la inspección en mataderos o necropsias, donde se observan lesiones características, aunque algunos animales positivos a la TST pueden no mostrar lesiones visibles, por lo que suele recurrirse a la toma de ganglios bronquiales y mediastínicos para confirmar la infección (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b). La detección del complejo *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC) depende principalmente de pruebas indirectas como la TST, que mide la hipersensibilidad retardada tras la inoculación de PPD-B, con el sitio de aplicación ajustado según la especie.

En áreas con alta exposición a micobacterias ambientales, se emplea la comparación entre PPD-B y PPD-A para aumentar la especificidad diagnóstica, aun cuando ello disminuya la sensibilidad. Por su trayectoria, eficacia y utilidad en programas de control y comercio, la TST continúa siendo la prueba preferida para el diagnóstico y cribado de tuberculosis en animales (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

Técnicas Diagnósticas según Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b.

Prueba de Tuberculina: Involucra la inyección de tuberculina (proteínas derivadas de *Mycobacterium tuberculosis*) en la piel y la evaluación de la respuesta inmune. Una reacción positiva indica exposición a la bacteria. Utiliza antígenos para detectar la respuesta inmune a las micobacterias. Limitaciones: puede haber falsos positivos debido a reacciones cruzadas con otras micobacterias.

Radiografías: Ayudan a identificar lesiones típicas de la tuberculosis en los pulmones y otros órganos. Es una técnica no invasiva que proporciona información sobre el estado de la enfermedad en los tejidos. Ventajas: permite la detección de lesiones internas que no son evidentes en un examen físico.

Tinción BAAR (Bacilos Ácido-Alcohol Resistentes): Se utiliza para identificar bacterias de tuberculosis en muestras biológicas como esputo o tejidos. Las bacterias se tiñen de un color distintivo que las hace visibles bajo el microscopio. Aplicaciones: especialmente útil en etapas avanzadas de la enfermedad donde la carga bacteriana es alta.

Métodos directos

Examen microscópico directo

También conocido como baciloscopía, es una técnica fundamental para la detección de tuberculosis pulmonar. Se utiliza para el diagnóstico inicial como para el seguimiento del tratamiento y es aplicable a muestras de diversos orígenes. Para la identificación de *Mycobacterium* spp. a nivel microscópico, se emplea comúnmente la tinción de Ziehl-Neelsen, para detectar bacilos ácido-resistentes en frotis directos de muestras clínicas y en tejidos. Alternativamente, se puede utilizar una tinción fluorescente ácido-resistente. Las técnicas de inmunoperoxidasa también ofrecen resultados satisfactorios en la identificación de micobacterias (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b; Rodríguez, n.d.).

El diagnóstico preliminar de infecciones micobacterianas (micobacteriosis) puede llevarse a cabo mediante la tinción de hematoxilina y eosina, la cual revela lesiones histológicas características de una respuesta inmunitaria a la infección, como necrosis caseosa, mineralización, presencia de células epitelioides, células gigantes multinucleadas y macrófagos. Dado que las lesiones provocadas por micobacterias suelen tener pocos bacilos (paucibacilares), es posible que los microorganismos ácido-resistentes no se detecten en cortes histológicos a pesar de que pueden ser aislados en cultivos. Sin embargo, en ciertos animales como primates, felinos, mustélidos (como los tejones) y marsupiales (como la zarigüeya australiana), las lesiones tienden a contener grandes cantidades de microorganismos ácido-resistentes, facilitando su detección microscópica según (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b; Rodríguez, n.d.).

Métodos indirectos

Prueba intradérmica de tuberculina

La prueba intradérmica de la tuberculina (TST) es el método diagnóstico estándar para detectar infecciones por el complejo *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC) en diversas especies domésticas y silvestres, como bovinos, ovinos, caprinos y ciervos, mediante la medición de la reacción cutánea tras la inoculación de un derivado proteico purificado (PPD) (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

Existen diferentes modalidades de este método, entre ellas la prueba intradérmica simple (SIT o SCT) y la prueba cervical comparativa (CCT), que difieren en su sensibilidad y especificidad: la SIT presenta mayor sensibilidad para identificar animales infectados, mientras que la CCT incrementa la especificidad al reducir las reacciones cruzadas generadas por micobacterias ambientales, característica especialmente valiosa en regiones donde estas tienen una alta prevalencia (Srinivasan et al., 2019). Avances recientes han permitido desarrollar las pruebas cutáneas con antígenos definidos (DST), las cuales ofrecen mejoras simultáneas en sensibilidad y especificidad, además de permitir diferenciar animales infectados de aquellos vacunados con BCG (Srinivasan et al., 2019).

En animales domésticos, la aplicación de estas pruebas se realiza en zonas anatómicas específicas como la región cervical o el pliegue caudal, siguiendo protocolos que varían según la especie. No obstante, las pruebas cutáneas presentan limitaciones: un resultado positivo no permite distinguir entre infección activa, exposición previa o memoria inmunológica, y existen riesgos de falsos negativos en animales inmunodeprimidos, recientemente infectados o sometidos a pruebas repetidas que podrían inducir desensibilización. Por ello, se recomienda efectuar evaluaciones seriadas cada 6–8 semanas para confirmar la ausencia de infección (Srinivasan et al., 2019). En casos de duda, se aconseja complementar con pruebas serológicas o basadas en inmunidad celular. La selección del tipo de prueba depende del contexto epidemiológico: en zonas endémicas se prefiere la prueba cervical comparativa por su mayor especificidad, mientras que en áreas de baja prevalencia se priorizan métodos más sensibles como la SCT con el propósito de optimizar la detección (Srinivasan et al., 2019).

Finalmente, la TST no se recomienda en animales de compañía como perros y gatos, donde los estudios radiográficos han reemplazado su uso.

Técnica radiográfica

La tuberculosis puede manifestarse como forma primaria, común en individuos sin exposición previa, o como forma posprimaria, producto de una reinfección o reactivación. La radiografía de tórax sigue siendo fundamental para el diagnóstico de sospecha, con un alto valor predictivo negativo, aunque puede presentar alrededor del 1% de falsos negativos, especialmente en individuos inmunocompetentes (Castiñeira Estévez et al., 2002; Miranda et al., 2004).

En tuberculosis primaria, las consolidaciones parenquimatosas unifocales son el hallazgo más frecuente, aunque pueden ser multilobulares hasta en un 25% de los casos; la distribución no es fija y puede predominar en segmentos superiores, sobre todo en jóvenes. Las adenopatías hiliares o mediastínicas son relevantes para el diagnóstico, observándose hasta en 96% de individuos jóvenes y en 10%–43% de adultos. La tuberculosis miliar aparece en 1%–7% de los pacientes, caracterizándose por nódulos de 2–3 mm distribuidos de manera difusa, especialmente en adultos inmunocomprometidos. Los tuberculomas, generalmente menores de 3 cm, representan entre 14% y 24% de los nódulos pulmonares resecados.

La cavitación ocurre en 7%–29% de los casos de tuberculosis primaria y aumenta significativamente en la posprimaria, alcanzando 40%–87%, pudiendo complicarse con micetomas o masas móviles intracavitarias (Castiñeira Estévez et al., 2002). La diseminación broncógena es frecuente en la forma posprimaria, observándose en 9%–58% de los casos como un patrón de árbol en brote. También pueden presentarse broncoestenosis (10%–40%), bronquiectasias en lóbulos superiores con riesgo de hemoptisis y derrame pleural, frecuente en tuberculosis primaria y presente en 18% de casos posprimarios, mientras que el empiema aparece solo en 1%–4% de los pacientes (Castiñeira Estévez et al., 2002).

Primates no humanos

Ateles geoffroyi, conocido como mono araña o mono de manos largas, pertenece a la clase Mammalia, orden Primates, familia Atelidae y se caracteriza por su gran tamaño corporal dentro de los primates neotropicales. Mide entre 35 y 45 cm, con una cola prensil que puede alcanzar 85 cm y un peso de 7.5 a 8.2 kg. Presenta constitución delgada, extremidades largas, cabeza pequeña y una cola desnuda en la parte inferior que funciona como quinto miembro; su coloración dorsal es oscura, con tonalidades más claras en el abdomen y alrededor de los ojos, además de un mechón en la parte superior de la cabeza (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas Mamíferos Terrestres, 2016).

Es uno de los monos más grandes del Neotrópico y su distribución abarca desde México hasta el norte de Colombia. En El Salvador fue redescubierto recientemente en la cordillera cercana a la laguna de Olomega, cantón La Estrechura, municipio de Chirilagua, donde se avistó una tropa compuesta por ocho adultos, dos juveniles y un infante, con individuos machos y hembras (Medina Zeledón et al., 2017).

Cebus capucinus, conocido como mono cara blanca, pertenece a la clase Mammalia, orden Primate y familia Cebidae. Es una especie de tamaño mediano, con una longitud corporal de 33 a 45 cm, cola de 35 a 55 cm y un peso entre 1.5 y 4 kg, siendo los machos generalmente más grandes. Su coloración es mayoritariamente negra, con zonas blancas en la cabeza, hombros y pecho; presenta una coronilla negra rodeada de blanco amarillento en la frente y laterales, además de una cara rosada con pocos pelos. Su locomoción incluye caminar, correr en forma cuadrúpeda y realizar saltos entre árboles (Guayabal et al., 2010).

Su distribución natural abarca desde el oeste de Honduras hasta el oeste de Ecuador en zonas bajas; sin embargo, en El Salvador se considera una especie introducida principalmente por comercio ilícito (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) et al., 2010).

Papio anubis es un primate conocido como babuino u oso papión, clasificado dentro del Reino Animalia, Phylum Chordata, Clase Mammalia, Orden Primates y Familia Cercopithecidae.

Presenta un tamaño notable, con machos que alcanzan alrededor de 24 kg y hembras unos 13 kg, mostrando un marcado dimorfismo sexual (Tralma Pizarro et al., 2019).

Su pelaje varía en tonalidades cafés, y en esta especie adquiere matices rojizos. Poseen rostro rosáceo, ojos cercanos, hocico alargado y mejillas con bolsas para almacenar alimento. Aunque son principalmente terrestres, utilizan los árboles para alimentación y refugio. Los machos poseen una melena característica en cuello y hombros. Se desplazan en forma cuadrúpeda con extremidades robustas. Destacan sus callosidades isquiáticas sin pelo y de coloración intensa, especialmente pronunciadas en hembras durante la etapa reproductiva. La cola es corta y arqueada al caminar. Es un animal fuerte y de comportamiento agresivo. El *P. anubis* es originario de África y el Oriente Medio, distribuido en Sudán, Eritrea, Etiopía, Arabia Saudita y Somalia, habitando sabanas secas, semidesiertos y zonas rocosas (Tralma Pizarro et al., 2019).

METODOLOGÍA

La toma de muestras se llevó a cabo en el Ex Parque Zoológico Nacional de El Salvador que se encontraba ubicado en Final Calle Modelo, San Salvador, El Salvador con coordenadas 13°41'1.05"N y 89°11'42.95"O, contaba con un área total de 85 manzanas que albergaban aproximadamente 119 especies animales.

La población de primates no humanos al momento de la toma de muestra era de 50 adultos y 9 crías pertenecientes a *Ateles geoffroyi*; 12 ejemplares de *Cebus capucinus*; 4 ejemplares de *Macaca nemestrina*; y finalmente 3 ejemplares pertenecientes a *Papio Anubis*, dando un total de 78 ejemplares. Pero se registraron tres tipos de primates no humanos dentro de la población en estudio (32). La mayoría correspondió a *Ateles geoffroyi*, con 22 individuos, seguido de *Cebus capucinus*, con 8 individuos, y *Papio anubis*, representado por 2 individuos. Esta distribución reflejó una predominancia de primates no humanos del género *Ateles*, lo cual representó implicaciones relevantes en la interpretación clínica y epidemiológica, dado que las características fisiológicas, comportamentales y ecológicas varían entre especies, influyendo en la susceptibilidad a enfermedades respiratorias como la tuberculosis, así como en la respuesta a pruebas diagnósticas y en la manifestación clínica de la tuberculosis.

La forma en la que se ejecutó la metodología consistió en la captura e inmovilización, aplicación de la prueba de tuberculina, toma de muestra para hispotado traqueal y toma de radiografías.

Captura e inmovilización

Esta tuvo lugar a tempranas horas del día, dónde un jaulero capacitado capturó a los primates no humanos utilizando red o una jaula, donde se administró clorhidrato de ketamina como inmovilizador químico al 10 % con dosis de 10 mg/kg. (CDC, 1993), por vía intramuscular.

Prueba Intradérmica de Tuberculina

Para la ejecución exitosa de la administración intradérmica de PPD se utilizó el plan establecido por la Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b

Por trabajarse con primates no humanos, la administración intrapalpeal de tuberculina, se realizó en el centro del párpado superior, próximo al borde. Las lecturas se efectuó a las 24, 48 y 72 horas posteriores a la inoculación. La interpretación se basó en una escala de cinco grados: las reacciones de grado 1 y 2 se consideran negativas, la de grado 3 no concluyente, y las de grado 4 y 5 positivas (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

Se utilizó la aplicación estándar, en la que se aplicó una inyección intradérmica de 0,1 ml (equivalente a 1 500 unidades) de tuberculina con aguja de 25–27G. Las tuberculinas diseñadas para uso humano no poseen la potencia suficiente para generar una respuesta en primates no humanos; aunque los derivados proteicos purificados (PPD) pueden emplearse, son menos sensibles.

Las reacciones inespecíficas son las más comunes y suelen originarse por sensibilización a micobacterias no patógenas ambientales, que provocan reacciones cruzadas con antígenos compartidos entre especies patógenas y no patógenas.

Para confirmar resultados dudosos, se optó por complementar la prueba con una batería diagnóstica que incluyó una muestra biológica de hisopados traqueales, además, de los estudios radiográficos.

La combinación de estas técnicas representó un enfoque razonable para el cribado inicial. Sin embargo, la interpretación diagnóstica se volvió ser compleja, debido a la respuesta inmunológica independiente de cada individuo frente a micobacterias no ha sido suficientemente estudiada o validada (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023b).

Cuadro 1. Grado de reacción a la prueba de Tuberculina intradérmica

Grado	Reacción
0	Sin reacción
1	Hematoma – extravasación de sangre en el párpado asociada a la inyección de la tuberculina
2	Grados variables de eritema palpebral
3	Tumefacción moderada con o sin eritema
4	Tumefacción evidente del párpado con caída y con o sin eritema
5	Necrosis palpebral con grados variables de tumefacción, incluido un cierre parcial o completo del párpado

Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023.

Técnica de ZIEHL-NEELSEN

Elaboración de improntas: Una vez tomada la muestra, se tomó una lámina porta objeto previamente identificada y se realizó el extendido; para ello se colocó con toda la superficie del hisopo el extremo más cercano a la zona esmerilada de la lámina y se extendió rotando el hisopo sobre la superficie de la lámina hasta cubrir casi la totalidad de esta (el extendido no se llevó hasta el borde opuesto para evitar posibles contaminaciones del técnico de laboratorio).

- a. Elaborar una impronta por muestra de hisopado.
- b. Colocar las improntas en la bandeja de acero inoxidable y llevarlas al lugar donde se encuentra el mechero de alcohol.
- c. Dejar secar las láminas al ambiente.
- d. Una vez secas las láminas, fijarlas con calor haciendo uso del mechero de alcohol, para ello pasar rápidamente tres o cuatro veces cada lámina sobre la llama del mechero.
- e. Garantizando que las improntas estén secas y fijas, guardarlas en la caja para portaobjetos para su posterior tinción en el laboratorio.

Técnica de coloración para la identificación de bacilos ácido alcohol resistentes en improntas de tejidos: este procedimiento se aplica a muestras de tejido pulmonar, ganglios linfáticos torácicos y cervicales, y todos aquellos tejidos o fluidos afectados, provenientes de animales

reactores a la prueba de tuberculina o sospechosos a tuberculosis. Todas las muestras trabajadas deben manipularse como si se tratara de muestras positivas (Rodríguez, n.d.).

Coloración de Ziehl Neelsen.

- a. Preparar la pinza para flamear con una torunda de algodón empapado con alcohol.
- b. Cubrir totalmente la superficie del extendido con fucsina básica o carbólica ZN.
- c. Flamear por debajo las láminas, empleando la pinza con la torunda de algodón ya encendida. Flamear hasta que se desprendan vapores, no permitir que el colorante entre en ebullición.
- d. Flamear varias veces las láminas durante 7 u 8 minutos, para mantener la producción de vapores. Evitar que se seque el colorante sobre las láminas; para ello colocar más colorante sobre las láminas si es necesario.
- e. Eliminar el exceso de agua de cada lámina.
- f. Para decolorar los extendidos, cubrir la totalidad de las láminas con Alcohol Ácido hasta que todas las trazas de color rojo desaparezcan del frotis. Para un mejor resultado alternar los lavados con agua y alcohol ácido hasta que no se observen cúmulos rojos o rosados sobre el extendido.
- g. Lavar las láminas perfectamente con agua corriente o agua destilada estéril para eliminar cualquier residuo de alcohol ácido.
- h. Eliminar el exceso de agua de cada lámina.
- i. Para colocar el colorante de contraste, cubrir las láminas con azul de metileno ZN durante 1 minuto.
- j. Lavar perfectamente ambas caras de las láminas con agua corriente o agua destilada estéril para eliminar cualquier residuo de colorante.
- k. Dejar secar las láminas al ambiente, no se recomienda usar papel secante.

Observación al Microscopio: Haciendo uso del objetivo 100X del microscopio, se observó detenidamente las láminas. Se cubrió en su totalidad el extendido, sobre todo en aquellos casos en donde no se logró observar de forma rápida bacilos ácido alcohol resistentes. Se recomendó seguir un recorrido sistematizado evitando así repetir la lectura de algunos campos. Luego de la tinción de Ziehl-Neelsen se observó de color rojo-rosado, que contrastó perfectamente con el color azul del resto de la impronta. Todo caso en donde se observó por lo menos UN bacilo ácido alcohol-resistente, se consideró Positivo. Todo caso donde no se observó bacilos ácido-alcohol resistentes se consideró Negativo.

En el caso de BAAR para humanos se realiza mediante la observación se debe recorrer unos 200 campos microscópicos y se informa según el siguiente criterio semicuantitativo:

Cuadro 2. Criterio semicuantitativo utilizado en baciloscopía para Tuberculosis

Baciloscopía negativa -	No se observan bacilos ácido-alcohol resistentes en 200 campos microscópicos observados.
Baciloscopía positiva +	Se observan menos de un bacilo por campo en 200 campos observados.
Baciloscopía positiva ++	Se observan 1 a 10 bacilos por campo en 100 campos observados.
Baciloscopía positiva +++	Se observan más de 10 bacilos por campo en 50 campos observados.

Fuente: Rodríguez, n.d.

Interpretación de las placas radiográficas.

Tras la revelación de las placas radiográficas, estas fueron digitalizadas y editadas para mejorar la visualización anatómica. Las radiografías de tórax anteroposteriores se utilizaron para detectar anomalías en tórax o abdomen, como variaciones en tamaño, forma, densidad o presencia de cavitaciones. Aunque estos hallazgos se consideraron indicios de tuberculosis, no fueron suficientes para un diagnóstico definitivo. Sin embargo, permitieron descartar tuberculosis pulmonar y extrapulmonar en individuos con reacción positiva a la prueba intradérmica de tuberculina y sin síntomas clínicos.

La tuberculosis se clasifica en primaria, observada en individuos sin exposición previa, y posprimaria, resultado de reinfección o reactivación. Según Castiñeira Estévez et al. (2002) y Miranda et al. (2004), el valor predictivo negativo de las radiografías es elevado, aunque puede presentarse un 1% de falsos negativos, incluso en pacientes inmunocompetentes.

En tuberculosis primaria, el hallazgo más frecuente es la consolidación parenquimatosa unifocal, aunque puede ser multilobular en el 25% de los casos. La afectación de los lóbulos es variable, con mayor prevalencia en segmentos superiores de los pulmones, especialmente en individuos jóvenes. Las adenopatías son un signo relevante, observándose en un 96% de jóvenes y entre un 10% y 43% de adultos.

La tuberculosis miliar aparece en un 1%–7% de los pacientes, principalmente en adultos y seniles inmunocomprometidos, caracterizada por nódulos difusos de 2–3 mm. Los tuberculomas suelen medir menos de 3 cm y representan entre el 14% y 24% de los nódulos pulmonares resecaos. La cavitación se observa en un 7%–29% de casos de tuberculosis primaria, y en la forma posprimaria aumenta hasta un 40%–87%, indicando alta infectividad y riesgo de micetomas.

La diseminación bronquial ocurre en un 9%–58% de tuberculosis posprimaria, presentando nódulos acinares con patrón de “árbol en brote”. La broncoestenosis se observa en un 10%–40% de los casos, manifestándose como colapso lobar, hiperinsuflación o neumonía obstructiva. La bronquiectasia afecta principalmente a los lóbulos superiores y puede causar hemoptisis. El derrame pleural es frecuente en jóvenes y adultos: en la tuberculosis posprimaria aparece en un 18% de los casos, mientras que el empiema se presenta solo en un 1%–4% de los pacientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó un total de 32 primates no humanos pertenecientes a las especies *Ateles geoffroyi*, *Cebus capucinus* y *Papio anubis*, todos alojados en recintos de exhibición. La selección respondió a criterios de accesibilidad y a su permanencia en espacios cerrados con riesgo epidemiológico. Aunque las especies se mantenían separadas, sus recintos estaban muy próximos, sin que hubiese una barrera física que no permitiera el flujo de aire, lo que incrementó el riesgo de transmisión aerógena de enfermedades respiratorias como la tuberculosis, especialmente relevante para la interpretación de las pruebas diagnósticas aplicadas.

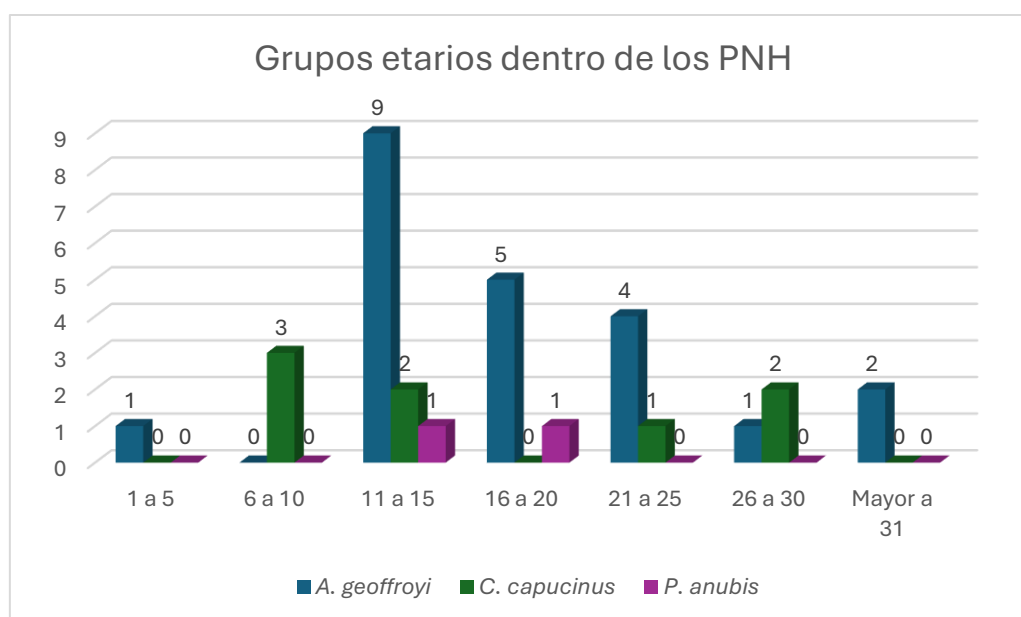


Figura 1. Gráfico sobre grupos etarios en la población de muestra de los primates no humanos.

Elaboración propia, 2025.

La población estuvo compuesta mayoritariamente por *Ateles geoffroyi* (68.8%), seguida de *Cebus capucinus* (25%) y *Papio anubis* (6.3%), lo que implicó diferencias fisiológicas y ecológicas que pudieron influir en susceptibilidad y respuesta diagnóstica. El promedio etario fue de 19 años. La mayor concentración se observó en el grupo de 11 a 15 años. Estas características son importantes, ya que la edad incrementa la exposición acumulativa al agente causal de tuberculosis y puede influir en la dinámica y riesgo de transmisión dentro de los recintos.

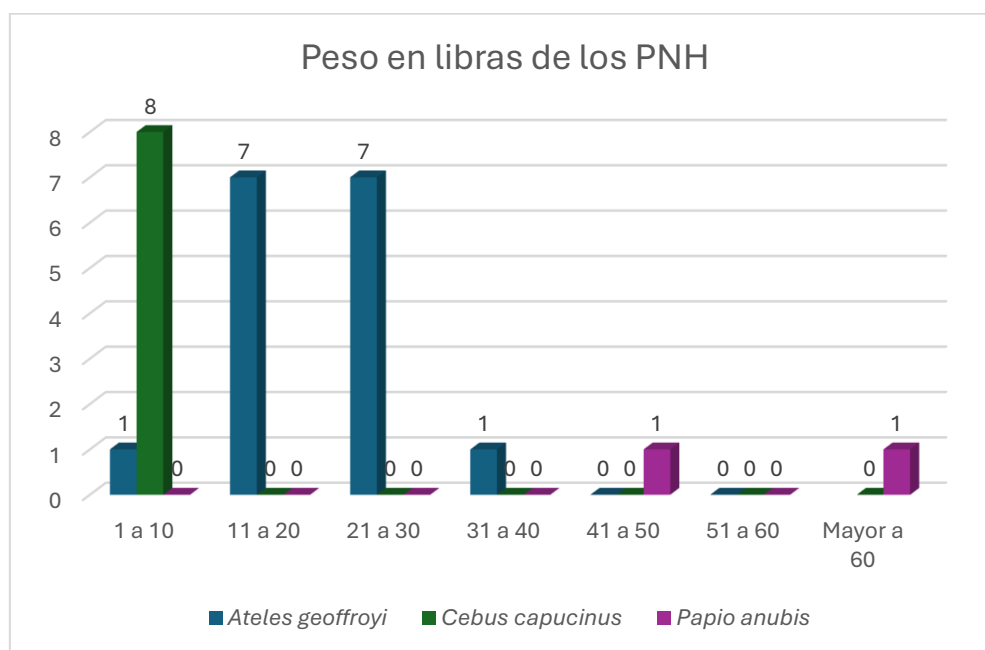


Figura 2. Gráfico sobre peso en libras en la población de muestra de los primates no humanos.

Elaboración propia, 2025.

En la población de 32 primates evaluados, los pesos variaron entre 5.5 y 74.5 libras, con un promedio de 20.3 lb. El 34.4% se ubicó entre 10 y 20 libras, mientras que solo el 9.4% superó las 30 libras. Estos patrones son relevantes porque el peso puede influir en la respuesta inmunológica y en la interpretación de pruebas diagnósticas para tuberculosis. En cuanto al sexo, la población estuvo compuesta principalmente por machos (71.9%), lo que podría afectar la susceptibilidad, expresión clínica y dinámica epidemiológica de la enfermedad.

Se estandarizaron las técnicas radiográficas torácicas según especie, tamaño y sexo para garantizar calidad diagnóstica: *Ateles geoffroyi* se evaluó con técnica 40-2; *Papio anubis* con 65-2 y 70-2 por su variabilidad morfológica; y *Cebus capucinus* con técnica 50-0.32, ajustada a su menor tamaño.

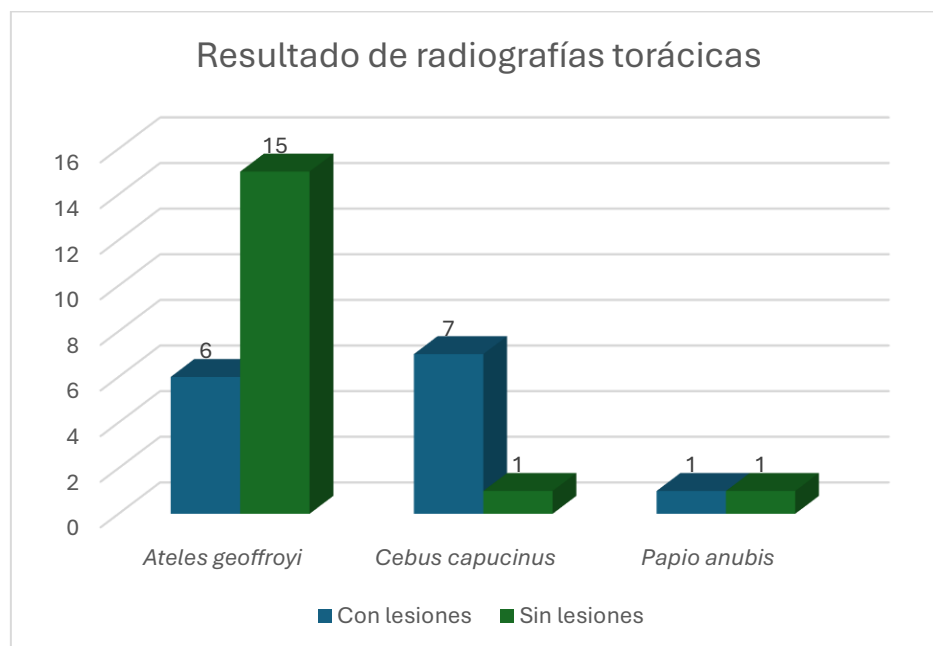


Figura 3. Gráfico sobre los resultados obtenidos en las radiografías torácicas de los primates no humanos.

Elaboración propia, 2025.

De los 31 individuos radiografiados, el 48.4% presentó lesiones sugestivas de tuberculosis. Por especie, *Cebus capucinus* mostró el mayor porcentaje de hallazgos compatibles (62.5%), seguido de *Papio anubis* (50%) y *Ateles geoffroyi* (42.9%). Estos valores sugieren una posible mayor susceptibilidad radiográfica en *C. capucinus*.

Aunque las radiografías permiten identificar lesiones compatibles con tuberculosis, la ausencia

de hallazgos no descarta infección activa o latente, ya que la enfermedad puede permanecer en fases subclínicas. Por ello, todos los animales en exhibición deben considerarse potenciales reservorios y fuentes de transmisión, independientemente de sus resultados radiográficos. Esto resalta la importancia de mantener vigilancia epidemiológica continua, aplicar pruebas complementarias como la tuberculina o cultivos microbiológicos y reforzar medidas estrictas de bioseguridad en espacios zoológicos.

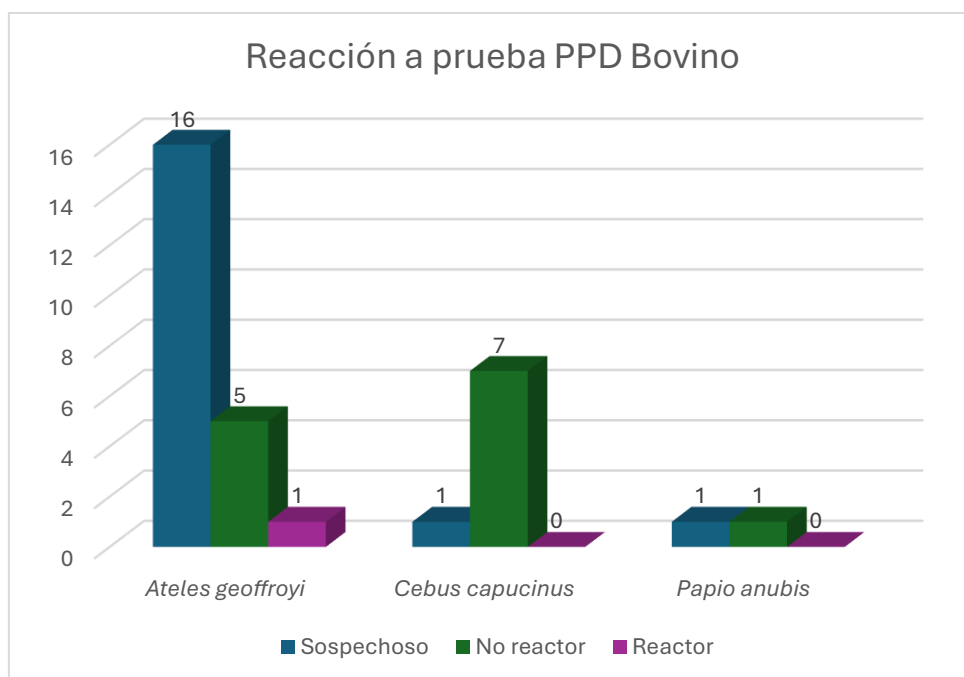


Figura 4. Gráfico sobre la reacción obtenida al PPD bovino en la población de muestra de los primates no humanos.

Elaboración propia, 2025.

La prueba PPD M. bovis se aplicó a 32 primates para evaluar exposición a tuberculosis zoonótica, obteniendo un 59.4% de reactividad total. De estos, el 56.3% fue clasificado como sospechoso y el 3.1% como reactor confirmado, lo que sugiere respuestas compatibles con infección temprana o exposición ambiental. Entre especies, *Ateles geoffroyi* presentó la mayor reactividad con 72.7%, seguido de *Papio anubis* con 50% y *Cebus capucinus* con 25%, reflejando posibles diferencias en susceptibilidad. Aunque útil como tamizaje, la prueba no confirma

tuberculosis activa, por lo que requiere apoyo de radiografías, BAAR, cultivos, PCR o pruebas serológicas. La elevada reactividad, especialmente en *A. geoffroyi*, indica posible circulación activa o latente de *M. bovis*, subrayando la importancia de la vigilancia epidemiológica, la bioseguridad, la cuarentena y el seguimiento clínico.

La prueba de tuberculina PPD *M. avium* se aplicó a 32 primates no humanos para evaluar la sensibilización frente a micobacterias ambientales y diferenciar posibles reacciones cruzadas con *M. bovis*. Globalmente, el 50% de los individuos fueron reactivos, predominando los sospechosos (46.9%) y registrándose un solo reactor confirmado (3.1%), lo que sugiere sensibilización parcial asociada a exposición ambiental a micobacterias saprofitas.

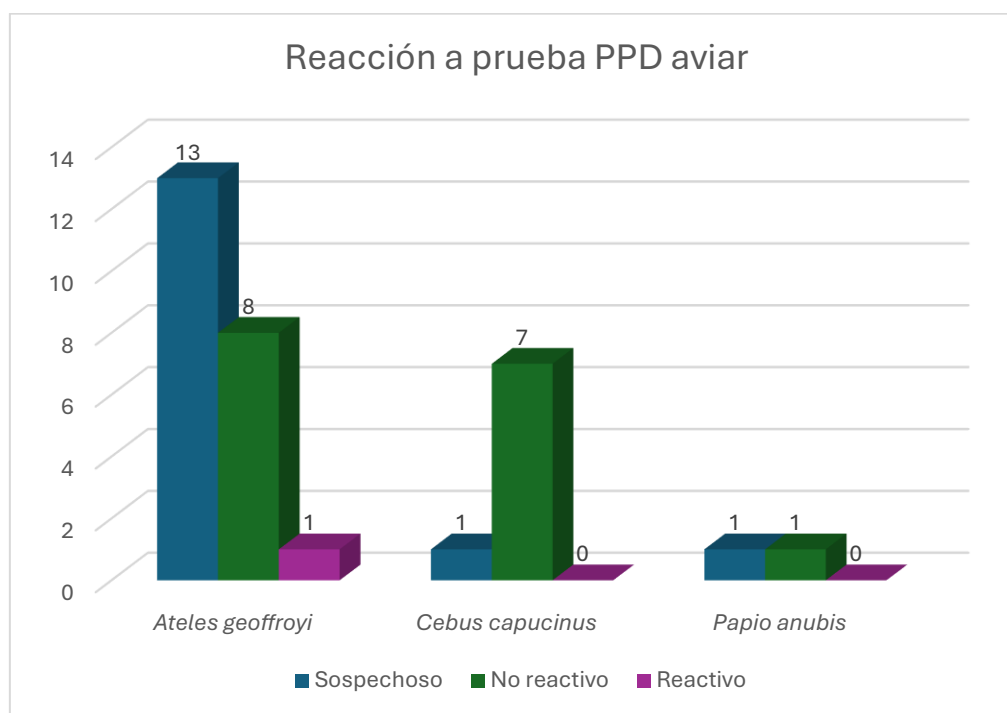


Figura 5. Gráfico sobre la reacción obtenida al PPD aviar dentro de la población de muestra de los primates no humanos.

Elaboración propia, 2025.

Los resultados muestran diferencias marcadas entre especies: *Ateles geoffroyi* presentó la mayor reactividad (63.6%), seguido de *Papio anubis* (50%), mientras que *Cebus capucinus* registró solo 12.5%, lo que sugiere variaciones en exposición o susceptibilidad a micobacterias ambientales. La alta proporción de sospechosos en *Ateles* indica una posible exposición frecuente a micobacterias no tuberculosas, lo que dificulta diferenciar entre infección real por *M. bovis* y reacciones inespecíficas.

La prueba PPD aviar es clave para interpretar adecuadamente la PPD bovina, sobre todo en individuos sospechosos en ambas, aunque por sí sola no confirma tuberculosis y requiere complementarse con radiografías, cultivos, BAAR, PCR o pruebas serológicas.

A. geoffroyi alcanzó 72.7%, seguido de *P. anubis* con 50% y *C. capucinus* con 37.5%, coherente con la reactividad observada en las pruebas de tuberculina. Esto sugiere que *A. geoffroyi* podría presentar mayor susceptibilidad o exposición ambiental.

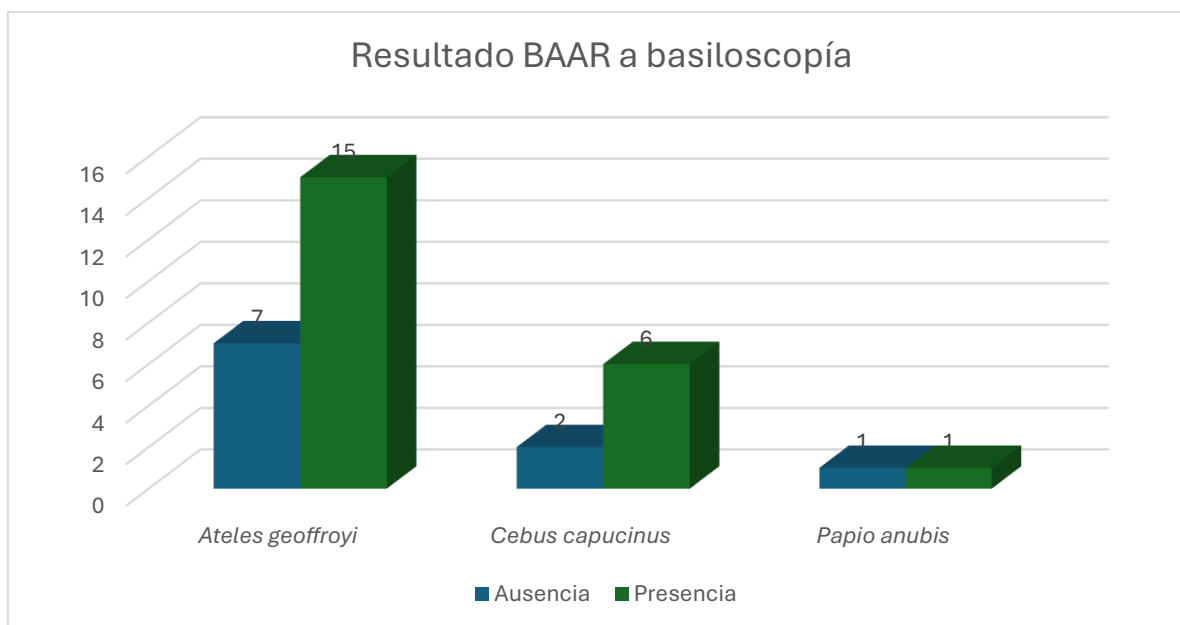


Figura 6. Gráfico sobre resultados obtenidos en baciloscopia dentro de la población de muestra de primates no humanos.

Elaboración propia, 2025.

La tinción para BAAR aplicada a 32 primates no humanos demostró más del una positividad del 62.5%, indicando una posible circulación activa de micobacterias en el grupo evaluado. Esta detección constituye evidencia de infección activa, especialmente cuando coincide con reactividad a la tuberculina o hallazgos radiográficos, por lo que los individuos positivos deben considerarse casos confirmados o altamente sospechosos.

La alta prevalencia observada, destacando *Ateles geoffroyi*, sugiere que esta especie podría actuar como un reservorio epidemiológico dentro del recinto. La presencia de micobacterias en más del 60% de los animales evidencia transmisión activa, lo que obliga a reforzar protocolos de bioseguridad, ventilación y manejo sanitario. La relación entre BAAR, prueba de tuberculina y estudios radiográficos permite establecer perfiles clínico-epidemiológicos por especie y orientar intervenciones diagnósticas y preventivas más efectivas.

CONCLUSIONES

La determinación del nivel de exposición a *Mycobacterium bovis* y *Mycobacterium avium* en los primates del Ex Parque Zoológico Nacional de El Salvador permitió establecer el estado sanitario de los individuos que participaron en el estudio, generando información esencial para comprender la dinámica de micobacterias en el entorno, demostró que en más del 50% de los individuos estudiados una posible circulación del *complejo Micobacterium tuberculosis* y de esta forma poder fundamentar acciones de vigilancia epidemiológica en instituciones de manejo de fauna silvestre.

La identificación de un 62.5% de bacilos ácido-alcohol resistentes en los hisopados nasofaríngeos de primates reactivos a la prueba de tuberculina evidenció la necesidad de emplear métodos diagnósticos complementarios para el diagnóstico presuntivo de tuberculosis o micobacteriosis ambientales. Esto permitió reforzar la interpretación de las reacciones a la prueba de tuberculina intradérmica y diferenciar posibles infecciones por micobacterias no tuberculosas.

A su vez, se logró determinar la presencia o ausencia de tuberculosis en los primates no humanos evaluados, contribuyendo a la caracterización del riesgo biológico dentro del parque y a la comprensión del estatus real de la enfermedad en animales bajo cuidado humano.

Los hallazgos destacan la influencia de la exposición ambiental como factor de interferencia diagnóstica y la necesidad de integrar ambas pruebas para definir perfiles inmunológicos por especie. Esta información es clave para la toma de decisiones en programas de salud y conservación.

Al identificar la presencia del *complejo Micobacterium tuberculosis*, se evidencia el riesgo de exposición para trabajadores, visitantes y otros animales en cautiverio demostrando el potencial zoonótico, por lo que se identificó la necesidad de fortalecer los protocolos de bioseguridad, el monitoreo sanitario permanente y las estrategias de prevención que reduzcan la probabilidad de transmisión entre especies y hacia el personal.

La divulgación de los resultados generados en este estudio representa un aporte científico y operativo para las autoridades responsables del manejo de fauna silvestre, ya que proporciona evidencia técnica que puede orientar mejoras en las prácticas de manejo, vigilancia sanitaria y medidas preventivas en exhibiciones privadas o públicas con animales susceptibles.

RECOMENDACIONES

Fortalecer la vigilancia epidemiológica/sanitaria en primates no humanos bajo cuidado humano, incorporando evaluaciones periódicas mediante pruebas de tuberculina, baciloscopía y estudios radiográficos que permitan una detección más temprana y precisa de bacterias del complejo *Mycobacterium tuberculosis*.

Implementar protocolos estandarizados de bioseguridad para el personal y visitantes, incluyendo el uso de equipo de protección personal, control de accesos, capacitación continua en zoonosis, diseñando programas de capacitación dirigida al personal operativo y veterinario de los parques de exhibición de animales, con énfasis en enfermedades causadas por micobacterias, control de infecciones y manejo seguro de fauna silvestre.

Establecer protocolos para la manipulación de animales y muestras biológicas, optimizando las prácticas de manejo animal en recintos con especies susceptibles, mejorando la ventilación, la limpieza, la desinfección y la reducción de factores de estrés que puedan aumentar la vulnerabilidad a infecciones respiratorias, junto al empleo de un sistema de registro que incluya controles sanitarios e historial clínico.

Establecer un programa sanitario en el que se incluya diagnóstico temprano de enfermedades animales incluyendo enfermedades prioritarias como la zoonosis (Tuberculosis); Reforzando el control ambiental y la vigilancia sanitaria para prevenir brotes y mejorar la precisión diagnóstica en primates bajo cuidado humano.

Fomentar la divulgación científica de los resultados obtenidos, tanto dentro de la institución como con autoridades de salud pública y conservación, para apoyar la toma de decisiones y fortalecer redes de colaboración en temas de zoonosis y bienestar animal.

BIBLIOGRAFÍAS

Alexander, K. A., Pleydell, E., Williams, M. C., Lane, E. P., Nyange, J. F. C., & Michel, A. (2002). *Mycobacterium tuberculosis*: An emerging disease of free-ranging wildlife. *Emerging Infectious Diseases*, 8, 598–601.

Bovine Tuberculosis. (n.d.). *BMJ*. <https://www.bmj.com/content/bmj/3/5825/488.full.pdf>

Castiñeira Estévez, A., López Pedreira, M. R., Pena Rodríguez, M. J., & Liñares Iglesias, M. (2002). Manifestaciones radiológicas de la tuberculosis pulmonar. *Medicina Integral*, 39(5), 192–206. <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-manifestaciones-radiologicas-tuberculosis-pulmonar-13029945>

CDC. (1993). Tuberculosis in imported nonhuman primates. *MMWR — Morbidity and Mortality Weekly Report*. <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00021299.htm>

Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2010). *El Salvador species identification guide* (Primera ed.).

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2016). *Mono araña*. <https://www.cites.org/esp/index.shtml>

Cousins, D. V., & Florisson, N. (2005). A review of tests available for use in the diagnosis of tuberculosis in non-bovine species. *Revue Scientifique et Technique*, 24(3), 1039–1059. <http://europemc.org/abstract/MED/16642773>

Dorronsoro, I., & Torroba, L. (2007). Microbiología de la tuberculosis. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 30, 67–85. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272007000400006

**Guayabal, V., Jimmy, M., & Delgado, B. (2010). Preferencia de hábitat del mico maicero (*Cebus capucinus*) en la Vereda Guayabal, Municipio de El Tambo (Cauca, Colombia). **

Medina Zeledón, K. E., Flores-Márquez, J. I., López, M. Á., Pineda Peraza, L. A., Segura Yanes, J. H., & Medina Zeledón, K. E. (2017). *Acta zoológica mexicana*, 33(3). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372017000300532

Meiring, C., van Helden, P. D., & Goosen, W. J. (2018). TB control in humans and animals in South Africa: A perspective on problems and successes. *Frontiers in Veterinary Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00298>

Michel, A. L., Müller, B., & van Helden, P. D. (2010). *Mycobacterium bovis* at the animal–human interface: A problem, or not? *Veterinary Microbiology*, 140(3–4), 371–381. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.08.029>

Miranda, G., Vidal, A., Díaz, C., Antolini, M., Arancibia, P., & Díaz, J. (2004). Manifestaciones radiográficas de la tuberculosis pulmonar. *Revista Chilena de Radiología*, 10(4).

Montali, R., Mikota, S., & Chen, L. (2001). *Mycobacterium tuberculosis* en la fauna salvaje y de parques zoológicos. OIE. http://www.oie.int/esp/publicat/rt/2001/E_R20112.htm

Morales, A., Pérez, L., & Gómez, R. (n.d.). Transmisión interespecies del complejo *Mycobacterium tuberculosis*. Universidad Nacional.

Müller, B., Dürr, S., Alonso, S., Hattendorf, J., Laisse, C. J. M., Parsons, S. D. C., van Helden, P. D., & Zinsstag, J. (2013). Zoonotic *Mycobacterium bovis*–induced tuberculosis in humans. *Emerging Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.3201/eid1906.120543>

Mycobacterium Tuberculosis Complex – An overview. (n.d.). ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/mycobacterium-tuberculosis-complex>

Nardell, E. (2023). *Tuberculosis*. MSD Manuals. <https://www.msdmanuals.com/professional/infectious-diseases/mycobacteria/tuberculosis-tb>

Oreiby, M., El-Gedawy, A., Hegazy, A., Khalifa, Y., Al-Gaabary, H. O., Matsumoto, M., Boggiatto, P. M., Kanipe, C., Borham, M., & Matsumoto, T. (2022). Review on bovine tuberculosis: An emerging disease associated with multidrug-resistant *Mycobacterium* species. *Pathogens*, 11(7), 715. <https://doi.org/10.3390/pathogens11070715>

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2023a). Código sanitario para los animales terrestres (Vol. 1, Cap. 2).

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2023b). Manual de las pruebas de diagnóstico y de las vacunas para los animales terrestres (Vol. 1, Cap. 3.1.13). https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahm/3.01.13_Mammalian_tuberculosis.pdf

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2023c). Tuberculosis bovina (infección por *Mycobacterium bovis*). <https://www.woah.org>

Ramos, D. F., Silva, P. E. A., & Dellagostin, O. A. (2015). Diagnosis of bovine tuberculosis: Review of main techniques. *Brazilian Journal of Biology*, 75(4), 830–837. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.23613>

Rodríguez, G. (n.d.). Temas de bacteriología y virología médica.

Srinivasan, S., Jones, G., Veerasami, M., Steinbach, S., Holder, T., Zewude, A., Fromsa, A., Ameni, G., Easterling, L., Bakker, D., Juleff, N., Gifford, G., Hewinson, R. G., Vordermeier, H. M., & Kapur, V. (2019). A defined antigen skin test for the diagnosis of bovine tuberculosis. *Science Advances*, 5(7), eaax4899. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax4899>

Tralma Pizarro, P. V., de Saint Pierre, M., Ferreira da Silva, M. J., & Martínez, F. (2019). Análisis genético en población de babuinos. Universidad de Chile.

Zhang, H., Liu, M., Fan, W., Sun, S., & Fan, X. (2022). The impact of *Mycobacterium tuberculosis* complex in the environment on One Health approach. *Frontiers in Public Health*, 10, 994745. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.994745>

ANEXOS

A-1. Métodos de diagnóstico disponibles, y sus respectivos propósitos según Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023.

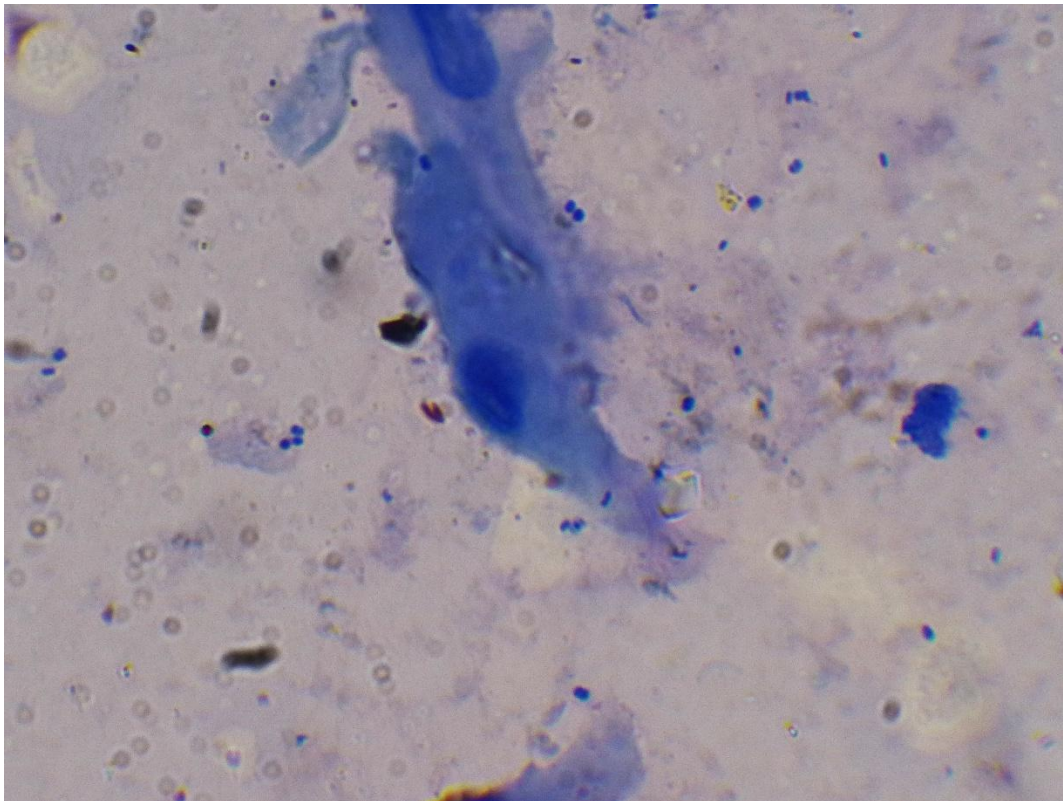
Método	Propósito					
	Demostrar ausencia de infección en la población	Demostrar ausencia de infección en animales individuales antes de los desplazamientos	Contribuir a las políticas de erradicación	Confirmar casos clínicos	Determinar la prevalencia de la infección – vigilancia	Determinar el estado inmunitario en animales o poblaciones tras la vacunación
Detección del agente						
Tinción ácido resistente y microscopía	-	-	-	+	-	-
Aislamiento bacteriano	++	-	++	+++	++	-
Histopatología y detección de antígeno	+	-	+	+	-	-
PCR en tiempo real (directa de las muestras)	++	-	++	+++	++	-
Detección de respuesta inmunitaria						
Prueba intradérmica de hipersensibilidad retardada	+++ (+++/+)	+++ (++/+)	+++ (++/++)	++	+++ (++/++)	-
IGRA	++ (++/+)	++ (+/+)	++ (++/+)	+ (-/-)	+++ (++/+)	-
ELISA de detección de anticuerpos	+ (-/++)	+ (+/++)	+ (-/++)	-	+ (-/++)	-
Prueba de anticuerpos de flujo lateral	+	+	+	-	+	-

Clave: +++ = recomendada para este propósito; ++ = recomendada, pero tiene limitaciones; + = adecuada en muy pocos casos; – = no adecuada para este propósito. Los métodos cuya idoneidad para el propósito indicado difiere según se trate de bovinos, caprinos o camélidos se indican en negro para bovinos, y las diferencias respecto a caprinos o camélidos se muestran entre paréntesis en rojo y azul, respectivamente. PCR = reacción en cadena de la polimerasa; IGRA = prueba de liberación del interferón gamma; ELISA = prueba de inmunoadsorción ligada a enzimas

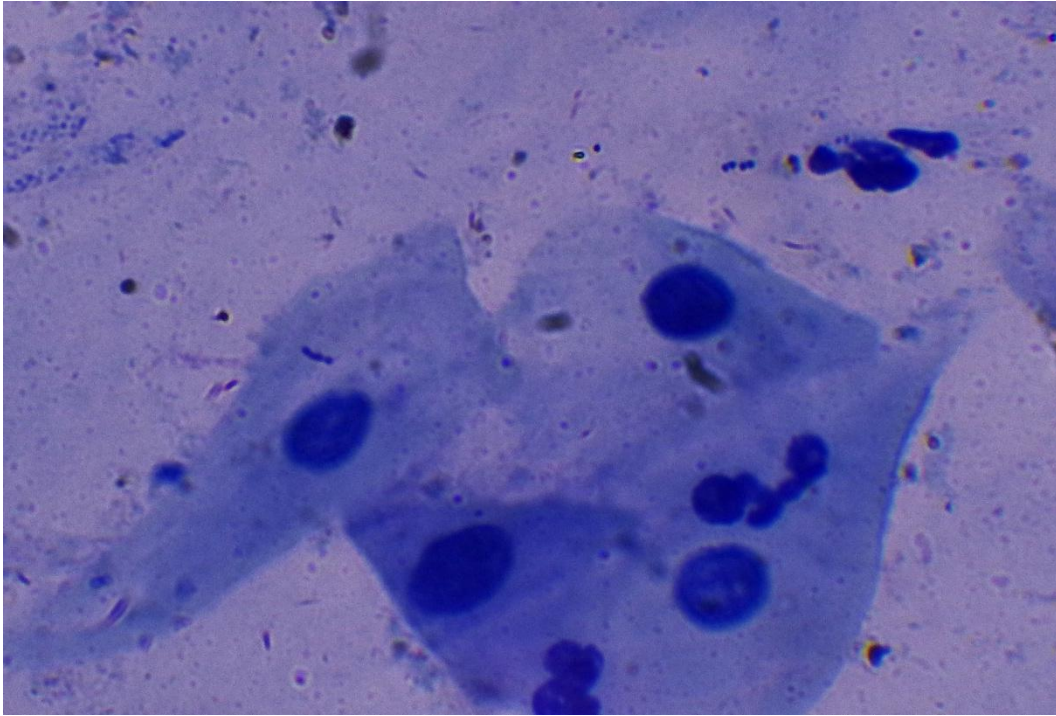
A-2. Fases de la coloración de improntas con la técnica Zhiel-Neelsen

Coloración	Fucsina + calor (calor hasta emisión de vapor; no ebullición)	Aproximadamente 5 min.
Decoloración	Alcohol-Acido	Aproximadamente 3 a 5 min.
Coloración de contraste	Azul de metileno	Aproximadamente 1 min.

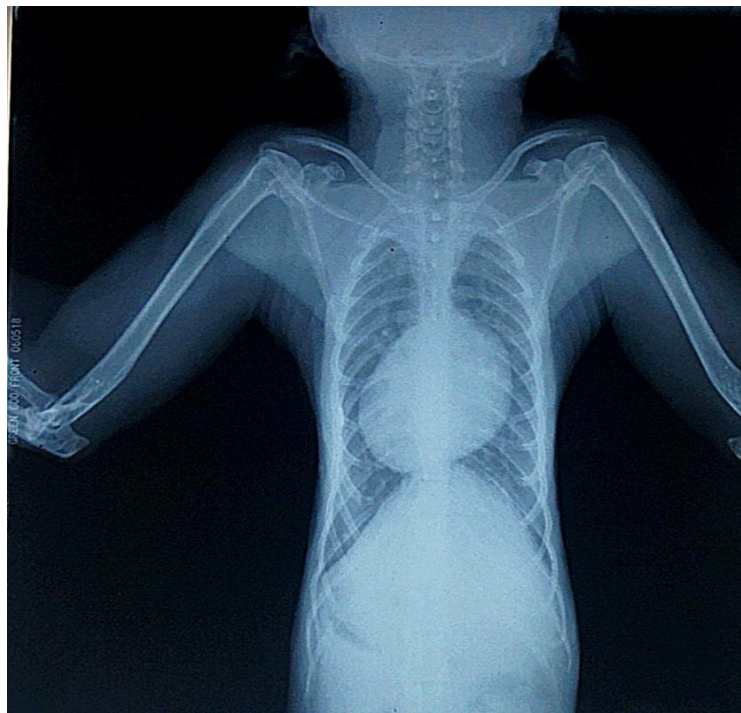
A-3. Fotografía al microscopio con objetivo 100X donde se observan 2 bacilos ácido alcohol resistentes, cerca del núcleo celular.



A-4. Fotografía al microscopio con objetivo 100X donde se observan 4 bacilos ácido alcohol resistentes, cerca del núcleo celular.



A-5. Radiografía torácica de PNH con lesiones sugestivas al complejo *Mycobacterium tuberculosis*.



A-5. Radiografía torácica de PNH sin lesiones sugestivas al complejo *Mycobacterium tuberculosis*.

