



División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia

Reporte de Servicio Social

ANTICUERPOS ANTI-LEPTOSPIRA PRESENTES EN FAUNA SILVESTRE BAJO CUIDADO HUMANO EN EL ZOOLOGICO DE ZACANGO.

Asesores: M en C. López Islas Jonathan Josué

Dr. Torres Barranca Jorge Isaac

Alumna: Montero Picos Magdiel

Matrícula: 2193070041

Índice

1. RESUMEN
2. INTRODUCCIÓN
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
4. JUSTIFICACIÓN
5. OBJETIVOS
 - 5.1 Objetivo general
 - 5.2 Objetivos específicos
6. HIPÓTESIS
7. MARCO TEÓRICO
 - 7.1 Leptospira
 - 7.1.1 Etiología
 - 7.1.2 Epidemiología
 - 7.1.3 Patogenia
 - 7.1.4 Lesiones macro y micro
 - 7.1.5 Diagnóstico
 - 7.1.5.1 Prueba de Aglutinación Macroscópica (MAT)
 - 7.1.6 Prevención y control
8. METODOLOGÍA
9. RESULTADOS
10. DISCUSIÓN
11. CONCLUSIÓN
12. LITERATURA CITADA

1. RESUMEN

La leptospirosis es una zoonosis de distribución mundial que afecta a un amplio rango de especies domésticas y silvestres, constituyendo un problema de relevancia tanto en medicina veterinaria como en salud pública. Con el objetivo de determinar la presencia de anticuerpos contra *Leptospira* spp. en fauna silvestre bajo cuidado humano, se llevó a cabo un estudio en el Zoológico de Zacango. Se recolectaron muestras de sangre de distintos ejemplares pertenecientes a diversas especies y se analizaron mediante la prueba de aglutinación microscópica (MAT), considerada el estándar de referencia para la detección serológica de esta bacteria.

Los resultados obtenidos demostraron seropositividad frente a múltiples serovariedades, entre las cuales destacan: hardjo, hardjo-89, icterohaemorrhagiae, pyrogenes, canicola, pomona, tarassovi, bratislava, sinaloa ACR y palo alto icterohaemorrhagiae. La mayor frecuencia de anticuerpos se presentó en felinos, particularmente en especies como tigre (*Panthera tigris*), leopardo (*Panthera pardus*), león blanco (*Panthera leo krugeri*) y león de Berbería (*Panthera leo leo*), lo que indica que este grupo taxonómico podría ser más susceptible a la exposición de la bacteria en condiciones de cautiverio.

La detección de estas serovariedades confirma la circulación activa de *Leptospira* spp. en el Zoológico de Zacango, lo que representa un riesgo potencial tanto para la fauna silvestre albergada como para el personal encargado de su manejo. Este hallazgo resalta la necesidad de implementar programas de vigilancia epidemiológica, medidas de bioseguridad y estrategias de prevención enfocadas en la identificación y control de reservorios, en el marco del enfoque Una Salud, que integra la salud animal, humana y ambiental.

2. INTRODUCCIÓN

La leptospirosis es una zoonosis de distribución mundial causada por bacterias del género *leptospira*, que afecta tanto a animales domésticos como a fauna silvestre y al ser humano. Esta enfermedad constituye un importante problema de salud pública y veterinaria debido a su impacto económico y sanitario, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Las especies de fauna silvestre desempeñan un papel crucial en la ecología de la enfermedad, ya que pueden actuar como reservorios de leptospirosis patógenas, favoreciendo su persistencia en el ambiente y su transmisión a otras especies. (Acosta-España et al., 2024)

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la presencia de anticuerpos anti-leptospira en fauna silvestre del zoológico de Zacango ubicado en Toluca Estado de México, contribuyendo al entendimiento de su rol en la epidemiología de la leptospirosis y al desarrollo de medidas de manejo y prevención que reduzcan el riesgo de transmisión en sistemas naturales y humanos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La leptospirosis es una enfermedad zoonótica de gran relevancia a nivel mundial, causada por bacterias del género leptospira es una enfermedad que afecta a distintas especies de animales, incluidos los humanos se caracteriza por infecciones subclínicas hasta cuadros severos con alta morbilidad y mortalidad. Esta enfermedad se considera una zoonosis, donde los animales silvestres pueden actuar como reservorios naturales del patógeno, facilitando su diseminación entre diferentes especies animales y humanos que conviven en un mismo ecosistema, aun en ambientes artificiales y controlados como los zoológicos. (Caballero Méndez et al., 2023)

El Zoológico de Zacango alberga una gran diversidad de fauna silvestre, por su estructura y distribución los animales presentes en el zoológico, logran estar en contacto con fauna silvestre de la región. La presencia y prevalencia de anticuerpos anti-leptospira en animales silvestres bajo cuidado humano se vuelve de importancia de salud pública y animal. (Chávez Sánchez, 2025)

La falta de información precisa sobre la prevalencia de leptospira en la fauna silvestre del Zoológico de Zacango limita la capacidad de implementar protocolos de bioseguridad efectivos y programas de control de enfermedades. Además, la identificación de las serovariedades de leptospira presentes es fundamental para desarrollar estrategias de prevención adecuadas y específicas. (Cruz-Romero et al., 2024)

Dada la importancia de mantener la salud de los animales, el personal y los visitantes del zoológico, así como de contribuir al conocimiento epidemiológico de la leptospirosis en entornos controlados, es imperativo llevar a cabo una investigación detallada sobre la presencia de anticuerpos anti-leptospira en la fauna silvestre del Zoológico de Zacango. Esta investigación permitirá identificar los factores de riesgo asociados y establecer medidas preventivas adecuadas, garantizando un entorno seguro y saludable para todos los involucrados. (da Silva Teixeira & Coutinho, 2024)

4. JUSTIFICACIÓN

La leptospirosis es una zoonosis de importancia a nivel mundial, causada por bacterias del género *leptospira*. Esta patología puede afectar a una amplia variedad de especies animales, incluidos los humanos, y se caracteriza por una sintomatología que varía desde infecciones subclínicas hasta cuadros severos con alta morbilidad y mortalidad. La detección de anticuerpos anti-*leptospira* en fauna silvestre es crucial, ya que estos animales pueden actuar como reservorios naturales del patógeno, facilitando su propagación en ambientes tanto silvestres como urbanos. (Dias & Pinna, 2025)

El Zoológico de Zacango, como institución que alberga una diversidad significativa de fauna silvestre, representa un ecosistema único en el que se puede evaluar la prevalencia y distribución de anticuerpos anti-*leptospira*. La investigación sobre la presencia de estos anticuerpos en los animales del zoológico es esencial:

1. **Prevención y Control de Enfermedades:** Permitiendo implementar medidas de control y prevención para minimizar el riesgo de brotes de leptospirosis, entre las distintas especies animales presentes en el zoológico.
2. **Salud Pública:** La leptospirosis es una enfermedad zoonótica, por lo que su estudio en animales silvestres puede proporcionar información valiosa sobre el riesgo potencial de transmisión a humanos, especialmente a trabajadores del zoológico y visitantes.
3. **Conservación de Especies:** Conociendo la prevalencia de las distintas serovariedades de *leptospira* se puede modelar el riesgo relativo de las especies susceptibles a *leptospira*, para realizar un plan de manejo y evitar la infección de especies susceptibles.
4. **Ecología de Enfermedades:** Esta investigación contribuye al entendimiento de la ecología de enfermedades en poblaciones silvestres, en este caso *leptospira*, y de esta forma poder establecer el cómo se distribuye, en las distintas especies y si sigue un patrón determinado y cual es este patrón, ofreciendo datos que pueden ser extrapolados a otros entornos similares.

En resumen, la justificación de esta investigación radica en su potencial para mejorar las prácticas de manejo en el Zoológico de Zacango, proteger la salud pública, contribuir a la conservación de especies y ampliar el conocimiento sobre la dinámica de la leptospirosis .

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Identificar anticuerpos anti-*leptospira* presentes en fauna silvestre bajo cuidado humano en el zoológico de Zacango.

5.2 Objetivos específicos

Identificar las serovariedades de *leptospira* predominantes en la fauna silvestre bajo cuidado humano del zoológico.

Comparar las serovariedades encontradas con respecto a las serovariedades de la región para entender posibles fuentes de infección.

Investigar los factores ambientales y de manejo que podrían estar asociados con la presencia de anticuerpos anti-leptospira en animales del zoológico.

Desarrollar recomendaciones basadas en los resultados de la investigación para mejorar las prácticas de bioseguridad en el Zoológico de Zacango.

6. HIPÓTESIS

Los animales de fauna silvestre en el Zoológico de Zacango presentan una prevalencia significativa de anticuerpos anti-leptospira, lo que sugiere una exposición activa al patógeno en este entorno y potencialmente representa un riesgo zoonótico tanto para otros animales como para el personal del zoológico. (Falcão et al., 2024)

7. MARCO TEÓRICO

7.1 *Leptospira*

7.1.1 Etiología

La leptospirosis es una enfermedad infecciosa causada por espiroquetas del género *leptospira*, las cuales pueden clasificarse en especies saprófitas (de vida libre) y especies patógenas. Estas bacterias poseen características morfológicas distintivas, como su forma helicoidal (en espiral) y su motilidad, que les permite desplazarse activamente en medios líquidos. Las espiroquetas son bacterias delgadas, móviles y helicoidales que miden entre 6 y 20 μm de longitud. Su forma helicoidal es mantenida por filamentos axiales que se extienden a lo largo del cuerpo bacteriano y están cubiertos por una envoltura externa. La motilidad de las espiroquetas se debe a la presencia de dos flagelos periplásmicos, uno en cada extremo de la célula, que les permiten moverse de manera eficiente en líquidos viscosos, como los tejidos del hospedador (Evangelista & Coburn, 2010). Además, presentan extremos en forma de gancho, lo que les da una apariencia característica de signo de interrogación. Entre las especies patógenas más comunes se encuentran *leptospira interrogans* y *leptospira borgpetersenii*. Estas bacterias tienen la capacidad de penetrar las membranas mucosas o la piel lesionada y diseminarse a través del torrente sanguíneo. Una característica importante de las *leptospira* patógenas es su capacidad para invadir células del hospedador. Esta invasión está mediada por proteínas de superficie, como las proteínas de repeticiones ricas en leucina (LRR, por sus siglas en inglés),

que facilitan la adhesión a las células del hospedador y la entrada en ellas (Evangelista & Coburn, 2010). Las proteínas LRR son comunes en muchas bacterias patógenas y están implicadas en la interacción con receptores celulares específicos, lo que les permite evadir la respuesta inmune y establecer una infección persistente. (Foltran et al., 2024)

7.1.2 Epidemiología

La Leptospirosis es la enfermedad zoonótica más extendida e infecta tanto a humanos como a animales. La infección por cepas patógenas comúnmente ocurre a través del contacto directo con la orina de animales infectados o indirectamente a través de agua contaminada. Casi todos los mamíferos pueden servir como portadores, albergando la espiroqueta en túbulos renales proximales de los riñones, generando la eliminación a través de la orina. Los seres humanos se consideran huéspedes incidentales y padecen infecciones agudas, pero a veces mortales. La leptospira ingresa al cuerpo a través de cortes o abrasiones en la piel o a través de las membranas mucosas de los ojos, la nariz o la garganta. La aparición de la enfermedad en humanos varía, puede ir entre 1 día y 4 semanas después de la exposición, y en sobrevivientes, la infección puede durar meses. La Leptospirosis puede presentar una amplia variedad de manifestaciones clínicas, la gravedad depende de la cepa o serovariedad involucrada, el tamaño del inóculo para algunas cepas, así como la edad, la salud y el estado inmunológico del individuo infectado. Otros síntomas incluyen cefalea, escalofríos, náuseas y vómitos, mialgia y, con menos frecuencia, erupciones cutáneas. La forma más grave de la enfermedad es el síndrome de Weil, caracterizado por complicaciones multiorgánicas, que incluyen ictericia, meningitis, hemorragia pulmonar, disfunción hepática y renal y colapso cardiovascular. (Gonçalves-de-Albuquerque et al., 2023)

7.1.3 Patogenia

La patogenia de leptospira en fauna silvestre depende de múltiples factores, incluidos el hospedero, la virulencia de la cepa, las condiciones ambientales y el estado inmunológico del animal. Las bacterias del género leptospira incluyen tanto especies patógenas como saprófitas. Las formas patógenas, que son responsables de la leptospirosis, poseen una gran capacidad de adaptación, lo que les permite colonizar distintos tejidos y persistir en los reservorios animales. (Hagedoorn et al., 2024)

Mecanismo de infección y colonización

La infección se produce generalmente a través del contacto con agua, suelo o materiales contaminados con orina de animales infectados. Las bacterias penetran en el organismo del huésped a través de heridas en la piel o mucosas intactas. Una vez dentro del torrente sanguíneo,

la leptospira puede diseminarse rápidamente, colonizando múltiples órganos, incluidos el hígado, los riñones, el sistema nervioso central y los pulmones. (Matiz-González et al., 2024)

En la fauna silvestre, muchas especies actúan como reservorios naturales, manteniendo la infección de manera asintomática. En estos animales, la leptospira suele localizarse en los túbulos renales, desde donde se excreta de forma intermitente en la orina. Este mecanismo permite la perpetuación de la bacteria en el ambiente sin causar daño significativo al huésped. (Miotto et al., 2024)

Respuesta inmune e interacción huésped-patógeno

La respuesta inmune en la fauna silvestre varía según la especie y la exposición previa. Los animales que actúan como reservorios tienden a desarrollar una respuesta inmune parcial, que limita la diseminación sistémica de la bacteria pero no elimina completamente la infección renal. En cambio, en especies susceptibles, leptospira puede causar enfermedad aguda, caracterizada por fiebre, insuficiencia orgánica múltiple y, en casos graves, muerte. (Moustafa et al., 2024)

Ingreso y diseminación del patógeno

La infección comienza generalmente cuando la bacteria penetra a través de mucosas (nasal, oral, conjuntival) o piel lesionada al entrar en contacto con agua, suelo o alimentos contaminados con orina de animales portadores. Una vez dentro del organismo, la leptospira se disemina rápidamente a través del torrente sanguíneo (leptospiremia), alcanzando diferentes órganos como riñones, hígados, pulmones y sistema nervioso central. (Ricardo et al., 2024)

Interacción con el sistema inmune

Durante la fase inicial de la leptospiremia, el sistema inmune innato se activa. Los macrófagos y células dendríticas reconocen patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs) mediante receptores tipo Toll (TLRs), principalmente TLR2 y TLR4. Esta interacción desencadena la producción de citocinas proinflamatorias como IL-1 β , IL-6 y TNF- α , responsables de los signos sistémicos iniciales como fiebre, mialgia y malestar general. (Sayanthi & Susanna, 2024)

Sin embargo, leptospira ha desarrollado mecanismos para evadir la fagocitosis y la acción del complemento, lo que le permite persistir y alcanzar órganos blancos. En los riñones, por ejemplo, se localiza en los túbulos renales, desde donde se excreta de forma intermitente en la orina, manteniendo el ciclo de transmisión. (Strnad et al., 2024)

Respuesta inmune adaptativa

La respuesta adaptativa se inicia con la activación de linfocitos T y B. Los linfocitos B producen anticuerpos específicos contra antígenos de superficie como las lipoproteínas y

lipopolisacáridos (LPS) de leptospira . La inmunoglobulina M (IgM) aparece primero, seguida por la IgG, que proporciona cierta protección en exposiciones posteriores. No obstante, la diversidad antigénica entre serovares limita la eficacia de esta respuesta cruzada. (Surdell & Coburn, 2024)

La activación de linfocitos T CD4+ favorece la producción de citocinas como IFN- γ , que activa macrófagos para eliminar la bacteria, mientras que los linfocitos CD8+ pueden contribuir a la citotoxicidad directa en tejidos infectados.

Efectos patológicos

La persistencia de leptospira en el órgano puede provocar inflamación crónica, daño tubular renal, hepatitis intersticial, hemorragias pulmonares y meningitis en casos más severos. En muchas especies silvestres, la infección puede cursar de forma subclínica, permitiendo la diseminación silenciosa del patógeno en los ecosistemas. (Win et al., 2024)

7.1.4 Lesiones macroscópicas y microscópicas

La leptospirosis es una enfermedad infecciosa que puede afectar a una amplia gama de especies de fauna silvestre, causando diversas lesiones tanto macroscópicas como microscópicas. Se pueden observar lesiones vasculares y lesiones endoteliales en todos los órganos afectados. A continuación, se describen las principales lesiones observadas en animales silvestres infectados con leptospira: (Zorilla et al., 2024)

Lesiones Macroscópicas

1) Ictericia: La ictericia es una coloración amarillenta de las mucosas y la piel, frecuentemente observada en animales infectados debido a la disfunción hepática y la hemólisis. 2) Hepatomegalia y Necrosis Hepática: El hígado puede estar aumentado de tamaño (hepatomegalia) y presentar áreas de necrosis. A menudo, el órgano se muestra friable y pálido con posibles hemorragias focales. 3) Esplenomegalia: El bazo puede estar agrandado (esplenomegalia) y congestivo, a veces con áreas de necrosis. 4) Hemorragias: Hemorragias petequiales y equimóticas pueden estar presentes en varios órganos, incluyendo los riñones, el hígado, los pulmones y las mucosas. Estas lesiones se deben al daño vascular y la coagulopatía inducida por la infección. 5) Nefritis y Necrosis Renal: Los riñones pueden estar agrandados y presentar áreas de necrosis y congestión. La superficie cortical del riñón puede mostrar un patrón moteado debido a la inflamación y daño tubular. 6) Edema Pulmonar: Los pulmones pueden estar congestionados y edematosos, con la presencia de líquido seroso en los alvéolos y el espacio intersticial.

Lesiones Microscópicas

1) Hepatitis Intersticial: Se observa infiltración de células inflamatorias mononucleares en el espacio portal y necrosis de hepatocitos. La degeneración grasa y la ictericia canalicular también pueden estar presentes. 2) Nefritis Intersticial: La inflamación intersticial en los riñones es una característica común, con infiltración de linfocitos y macrófagos. En algunos casos puede observarse necrosis tubular y daño glomerular. 3) Vasculitis: Inflamación de los vasos sanguíneos, caracterizada por la presencia de células inflamatorias en y alrededor de las paredes vasculares, lo que puede llevar a la formación de trombos y hemorragias. 4) Miocarditis: Inflamación del miocardio, con infiltración de células mononucleares y necrosis de las fibras musculares cardíacas. 5) Hemorragias Microscópicas: Hemorragias capilares en varios órganos, incluyendo el cerebro, los pulmones y el tracto gastrointestinal, causadas por daño endotelial y coagulopatía. 6) Pulmones: Edema alveolar, hemorragias y neumonía intersticial con infiltración de células inflamatorias en el tejido pulmonar.

Las lesiones macroscópicas y microscópicas causadas por la leptospirosis en fauna silvestre reflejan la naturaleza multisistémica de la enfermedad y su capacidad para causar daño significativo en diversos órganos y tejidos. La identificación de estas lesiones es crucial para el diagnóstico y la comprensión de la patogenia de la leptospirosis en animales silvestres. Además, estos hallazgos pueden contribuir a la implementación de medidas de control y prevención efectivas en poblaciones de fauna silvestre, ayudando a reducir la transmisión de la enfermedad tanto entre los animales como en los humanos.

Respuesta inmune asociada a las lesiones

Las lesiones son consecuencia directa de la interacción entre la *leptospira* y el sistema inmune del hospedador. En la fase aguda, la activación del sistema inmune innata provoca liberación de la tormenta de citocinas inflamatorias que median fiebre, inflamación tisular y daño vascular.

La activación del complemento y la infiltración de células inmunes como neutrófilos y macrófagos contribuyen al daño en tejidos como hígado y riñón. En la fase adaptativa, la producción de anticuerpos específicos ayuda a neutralizar al patógeno, pero también puede generar complejos inmunes que amplifican la inflamación. En animales que desarrollan infecciones crónicas, como algunos mamíferos silvestres, la respuesta inmune se modula para permitir la persistencia renal sin causar daño evidente, facilitando la diseminación prolongada de la bacteria.

7.1.5 Diagnóstico

7.1.5.1 Prueba de Aglutinación Macroscópica (MAT)

La prueba de aglutinación macroscópica (MAT, por sus siglas en inglés) es una técnica serológica ampliamente utilizada para la detección de anticuerpos contra diferentes serovariedades de *leptospira* en el suero de animales y humanos. Es considerada el estándar de oro para el diagnóstico de la leptospirosis debido a su alta especificidad y sensibilidad.

Principio de la Prueba

La MAT se basa en la capacidad de los anticuerpos presentes en el suero de un individuo infectado para aglutinar las espiroquetas de *leptospira* en una suspensión. La reacción de aglutinación se observa macroscópicamente y se interpreta como positiva cuando las espiroquetas se agregan formando un sedimento visible.

Ventajas y Limitaciones

Ventajas: Tiene una alta especificidad y sensibilidad. Permite la identificación de serovariedades específicas de *leptospira*. Limitaciones: Requiere el uso de cultivos vivos de *leptospira*, lo cual implica riesgos de bioseguridad. Es laboriosa y requiere personal capacitado. La interpretación puede ser subjetiva y depende de la experiencia del operador. Puede no detectar infecciones recientes si los niveles de anticuerpos aún no son suficientes.

La prueba de aglutinación macroscópica es una herramienta diagnóstica crucial para la leptospirosis, especialmente en contextos de investigación y salud pública. A pesar de sus limitaciones, su alta especificidad y capacidad para identificar serovariedades específicas la hacen indispensable para el manejo y control de esta zoonosis. Implementar esta técnica con las precauciones adecuadas y la capacitación necesaria puede proporcionar información valiosa sobre la epidemiología y dinámica de la leptospirosis en diferentes poblaciones.

7.1.6 Prevención y control

La prevención y el control de la leptospirosis en fauna silvestre presentan un reto importante debido a la amplia distribución de especies silvestres que actúan como reservorios naturales del agente. Estos animales, especialmente los roedores, son hospederos de *leptospira* en sus riñones y pueden eliminarla continuamente a través de la orina sin presentar signos clínicos, manteniendo un ciclo de transmisión en el ambiente.

Prevención

Las estrategias de prevención están dirigidas principalmente a reducir la exposición a fuentes de infección y minimizar la circulación del patógeno en los ecosistemas. 1) Gestión del ambiente: la eliminación de agua estancada, el control de vegetación densa y la limpieza de residuos orgánicos ayudan a reducir la proliferación de fauna silvestre portadora. 2) Evitar el contacto con fauna silvestre: la separación física entre animales domésticos y vida silvestre mediante cercas, manejo de residuos y protección de fuentes de agua es fundamental. 3)

Monitoreo epidemiológico: la vigilancia activa en poblaciones silvestres permite identificar zonas de riesgo y actuar preventivamente. 4) Educación comunitaria: sensibilizar a las poblaciones humanas que interactúan con ambientes naturales sobre las vías de transmisión y medidas preventivas es clave para reducir los riesgos.

Control

El control de la leptospirosis en fauna silvestre se enfoca en medidas indirectas, ya que el tratamiento y la vacunación en animales de vida libre no son medidas prácticas ni éticamente viables en la mayoría de los casos. Las acciones más relevantes incluye: 1) Control poblacional de reservorios , especialmente de roedores, mediante métodos éticos y sostenibles. 2) Intervenciones integradas en áreas de brote , que incluyen el manejo de agua, suelo y residuos. 3) Aplicación del enfoque "Una Salud" , que promueve la cooperación entre salud animal, humana y ambiental, para una respuesta más efectiva ante brotes y situaciones de riesgo.

Enfoque "Una Salud"

La leptospirosis es un claro ejemplo de una enfermedad que requiere ser abordada desde el enfoque "Una Salud", el cual reconoce la interdependencia entre la salud humana, la salud animal y el ambiente. Este enfoque promueve la colaboración entre médicos, veterinarios, ecólogos, autoridades sanitarias y comunidades locales, para actuar de manera coordinada ante los riesgos sanitarios compartidos.

Aplicado a la leptospirosis en fauna silvestre, el enfoque "Una Salud" implica: I) Recopila y análisis de datos en animales silvestres, humanos y ambientales para comprender mejor la dinámica de transmisión del patógeno. II) Desarrollo de políticas públicas basadas en evidencia científica que consideran la conservación de la biodiversidad junto con la prevención de enfermedades zoonóticas. III) Intervención en los determinantes sociales y ecológicos de la salud , como el acceso al agua limpia, la gestión de residuos y la planificación territorial. IV) Preparación y respuesta conjunta ante brotes , facilitando rápidas y efectivas que involucren a todos los sectores implicados.

Este enfoque no solo mejora la eficacia de las estrategias de control de la leptospirosis, sino que también fortalece la capacidad de respuesta ante otras enfermedades emergentes que comparten características similares de transmisión y persistencia ambiental.

La combinación de estas medidas permite reducir la transmisión en zonas silvestres y periurbanas, protegiendo tanto a la fauna como a los humanos y animales domésticos expuestos al mismo entorno.

8. METODOLOGÍA

Se realizará el análisis de las muestras en el laboratorio de *leptospira* ubicado en la UAM Xochimilco, utilizando la prueba de Aglutinación Macroscópica.

Preparación de los Antígenos. Se seleccionarán 12 de Cepas vivas de *leptospira* correspondiente de interés, entre ellas: L. Canicola, L. Icterohaemorrhagiae, L. Bratislava, L. Grippotyphosa, L. Pomona, L. Autumnalis, L. Hebdomadis, L. Hyos, L. Bataviae, L. Javanica. Será cultivadas y serán inoculadas en medio semisólido de Fletcher o líquido EMJH, incubando a 28-30°C durante 7 a 10 días. Posteriormente se recuperan los antígenos de superficie utilizando una densidad de 108-109 leptospiras por ml determinada por microscopía de campo oscuro. Se añadirá formaldehído a una concentración final del 0,2% y se dejará en un tubo de ensayo durante 3-4 horas. Posteriormente se colocarán en baño maría 100 °C durante 30 min. Se ajusta el pH a 9.6. A continuación se centrifuga a 10 000 g durante 30 min. Recuperar el sobrenadante y conservar el sobrenadante hasta su utilización.

Preparación de las Muestras de Suero. De los animales previamente muestreados para obtención de suero, serán inactivados con calor a 56°C durante 30 minutos. Se congelan para su uso posterior.

Procedimiento de la Prueba. Se realizaran diluciones seriadas a partir de 1:50 hasta 1:3200. Se realizará la preparación de la placa con 50 µL de cada dilución de los suero en los pozos. Se agregan 50 µL de la suspensión de *leptospira* y se mezclan suavemente. Posteriormente las placas serán incubadas a 30°C durante 2 horas, posteriormente se realizará la lectura de las placas en microscopio.

Lectura de resultados. Se examinaron bajo un microscopio de campo oscuro a 100x o 200x aumentos. Se establecerá un punto de corte para los sueros positivos, se considera positivo si la aglutinación se genera en más del $\geq 50\%$. Posteriormente en las diluciones seriadas se observa hasta qué título de la dilución sigue generando aglutinación.

9. RESULTADOS

En el presente estudio se analizaron un total de 68 muestras biológicas provenientes de diferentes especies de fauna silvestre del Zoológico de Zacango, con el objetivo de determinar la presencia de *leptospira spp.* mediante la prueba de aglutinación microscópica (MAT).

Del total de muestras procesadas, 45 (66.717%) resultaron seropositivas a una o más serovariedades de *leptospira*. Los serovariedades con mayor frecuencia de reacción fueron hardjo y hardjo-89, mientras que otras serovariedades presentaron reactividad baja o nula. La distribución de los títulos serológicos mostró variaciones entre especies, siendo más elevados en carnívoros (felinos) en comparación con herbívoros.

Los resultados generales obtenidos en el Zoológico de Zacango muestran una amplia distribución de títulos serológicos frente a distintas serovariedades de *Leptospira*. La positividad detectada en múltiples especies indica una exposición ambiental constante dentro de los recintos. La variabilidad de títulos, que oscila desde valores bajos hasta 1:200, sugiere distintos grados de respuesta inmunitaria y posibles diferencias en la intensidad de la infección. El predominio de reacciones frente a serovariedades del grupo Hardjo refleja la persistencia de cepas adaptadas a hospedadores domésticos que pueden mantenerse en el ambiente y afectar a fauna silvestre bajo cuidado humano. Este patrón demuestra que la leptospirosis no se presenta de forma aislada sino como un proceso endémico y multifactorial que involucra interacción entre condiciones ambientales, manejo de los animales y presencia de reservorios.

[illegible]

	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tarassovi	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bratislava	50	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sinaloa ACR	50	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H-89	50	1	1	2	0	0	2	0	1	6	0	1
	100	0	1	1	2	0	0	2	5	1	2	2
	200	0	1	0	0	2	1	0	2	0	1	
	400	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
Palo alto Ictero	50	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

El análisis individual revela una heterogeneidad marcada en las respuestas serológicas. Algunos ejemplares muestran títulos altos frente a una o varias serovariedades, mientras que otros permanecen negativos pese a compartir hábitat. Esta variación podría atribuirse a factores

inmunológicos, edad, estado fisiológico o exposición previa. La presencia de individuos con títulos elevados sugiere infecciones recientes o contactos frecuentes con reservorios contaminados. Los resultados individuales permiten identificar animales centinela que reflejan la dinámica de transmisión dentro de los recintos, proporcionando información esencial para la vigilancia sanitaria y la toma de decisiones en programas de control y prevención.

Tabla 2. Frecuencia de leptospira spp por taxon

Serovariedad	Titulo	Taxon				
		Cervido	Procionido	Felino	Bovido	Suino
Icterohaemorrhagiae	50	0	1	1	0	0
	100	0	1	0	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
Pyrogenes	50	0	0	1	0	0
	100	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
Grippotyphosa	50	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
Canicola	50	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0
	200	0	1	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
Pomona	50	0	0	0	0	0

	100	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
Hardjo	50	1	1	7	0	1
	100	2	1	10	2	0
	200	0	1	7	0	1
	400	0	0	1	1	0
Wolffi	50	0	0	0	0	0
	100	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
Tarassovi	50	0	0	0	0	0
	100	0	0	1	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
Bratislava	50	0	1	0	0	0
	100	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
Sinaloa ACR	50	0	1	0	0	0
	100	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0
H-89	50	2	2	6	0	1

	100	1	1	12	0	2
	200	1	0	4	2	0
	400	0	0	2	0	0
Palo alto Ictero	50	0	1	0	0	0
	100	0	0	0	0	0
	200	0	0	0	0	0
	400	0	0	0	0	0

La agrupación de resultados por taxón evidencia diferencias significativas entre grupos zoológicos. Los mamíferos concentraron la mayor proporción de positivos, seguidos por aves y otros vertebrados. Dentro de los mamíferos, los carnívoros y ungulados presentaron mayor reactividad, lo que coincide con su papel ecológico y su comportamiento alimentario. Esta distribución sugiere que la leptospirosis afecta de manera diferencial a los distintos grupos, posiblemente por variaciones en su fisiología, en el contacto con fuentes de agua o en el manejo. El análisis taxonómico es fundamental para establecer estrategias de control específicas, ya que permite focalizar la vigilancia en los grupos con mayor riesgo y potencial de diseminación.

Tabla 3. Frecuencia de leptospira spp por orden

Serovariedad	Titulo	Orden		
		Hervívoro	Carnívoro	Omnívoro
Icterohaemorrhagiae	50	0	0	0
	100	0	0	0
	200	0	0	0
	400	0	0	0
Pyrogenes	50	0	0	0
	100	0	0	0

	200	0	0	0
	400	0	0	0
Grippotyphosa	50	0	0	0
	100	0	0	0
	200	0	1	0
	400	0	0	0
Canicola	50	0	0	0
	100	0	0	0
	200	0	0	0
	400	0	0	0
Pomona	50	0	0	0
	100	0	0	0
	200	0	0	0
	400	0	0	0
Hardjo	50	1	10	1
	100	4	13	1
	200	0	9	1
	400	2	1	0
Wolffi	50	0	0	0
	100	0	0	0
	200	0	0	0
	400	0	0	0
Tarassovi	50	0	0	0
	100	0	0	0

	200	0	0	0
	400	0	0	0
Bratislava	50	0	1	0
	100	0	0	0
	200	0	0	0
	400	0	0	0
Sinaloa ACR	50	0	1	0
	100	0	0	0
	200	0	0	0
	400	0	0	0
H-89	50	2	9	1
	100	1	13	2
	200	3	4	0
	400	0	2	0
Palo alto Ictero	50	0	1	0
	100	0	0	0
	200	0	0	0
	400	0	0	0

Al desglosar los resultados por especie se observa que los felinos, seguidos de ciertos cérvidos y bóvidos, presentan los mayores títulos y frecuencias de positividad. Este patrón podría asociarse a la dieta carnívora, que incrementa el riesgo de exposición a tejidos infectados, y al contacto indirecto con ambientes húmedos o zonas de drenaje. La heterogeneidad entre especies resalta la influencia de los hábitos ecológicos y del manejo en cautiverio sobre la dinámica de transmisión. Estos datos refuerzan la necesidad de implementar protocolos sanitarios diferenciados y de mantener un monitoreo continuo para prevenir brotes clínicos.

Tabla 4. Serovariedad

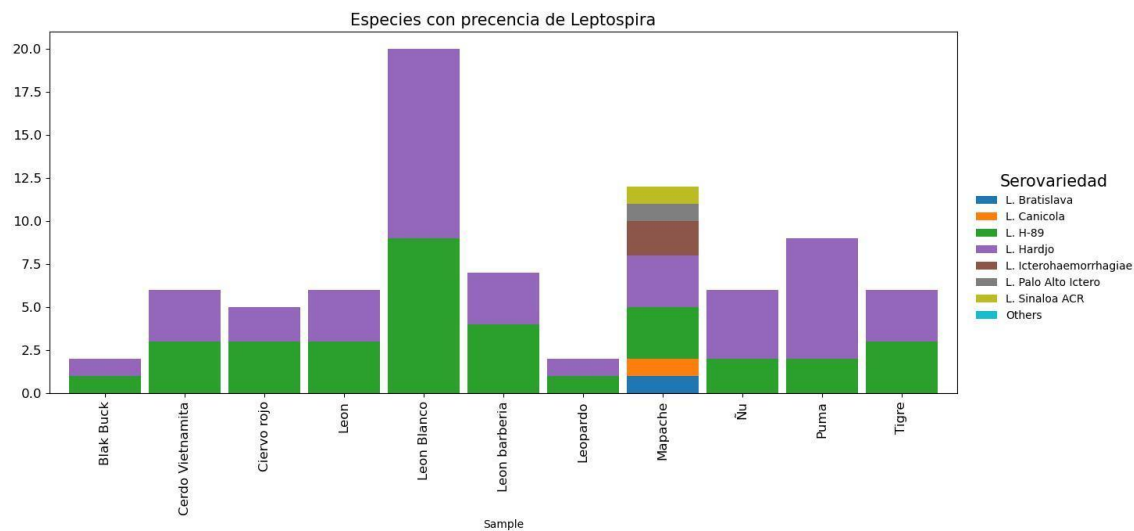
Serovariedad	Taxon						
	Individuos muestreados: 68		cervido	procionido	felino	bovido	suino
	Individuos positivos: 45	%	%	%	%	%	%
Icterohaemorrhagiae	3	4.41	0	2.94	1.47	0	0
Pyrogenes	1	1.47	0	0	1.47	0	0
Grippytyphosa	0	0	0	0	0	0	0
Canicola	1	1.47	0	1.47	0	0	0
Pomona	0	0	0	0	0	0	0
Hardjo	43	63.23	4.41	4.41	44.11	5.88	4.41
Wolffi	0	0	0	0	0	0	0
Tarassovi	1	1.47	0	0	1.47	0	0
Bratislava	1	1.47	0	1.47	0	0	0
Sinaloa ACR	1	1.47	0	1.47	0	0	0
H-89	36	52.94	5.88	4.41	35.29	2.94	4.41
Palo alto Ictero	1	1.47	0	1.47	0	0	0

Finalmente, la distribución de serovariedades confirma la circulación simultánea de múltiples cepas de *Leptospira* en el zoológico. Las serovariedades Hardjo y Hardjo-89 fueron las predominantes, seguidas por Icterohaemorrhagiae, Pomona y Bratislava. Esta diversidad sugiere la existencia de varias fuentes de infección, posiblemente asociadas a reservorios domésticos y silvestres. La presencia de cepas patógenas de diferentes grupos serológicos indica una compleja red de transmisión que involucra factores ambientales, comportamiento animal y mantenimiento bacteriano en el suelo y el agua. Estos hallazgos subrayan la

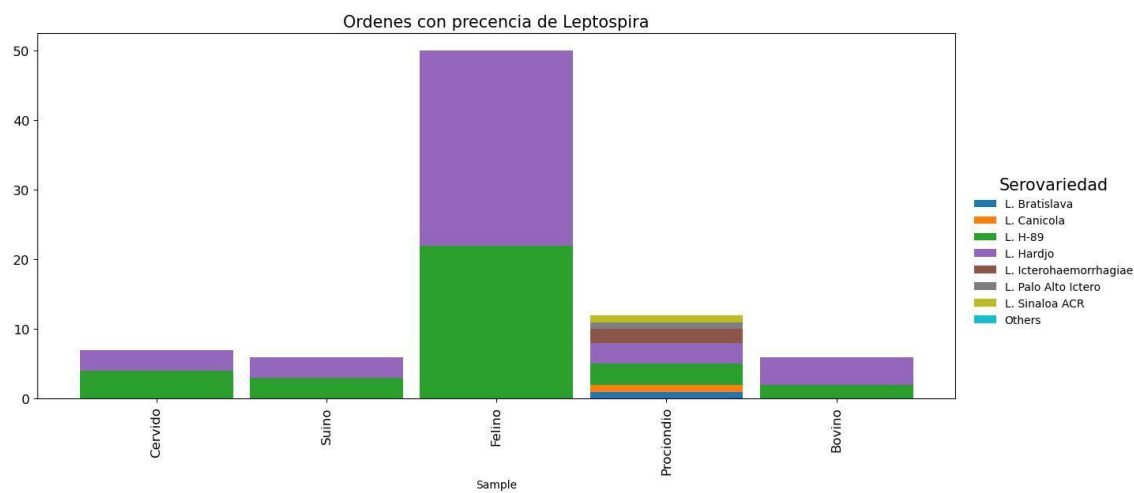
importancia de la bioseguridad, el control de fauna sinantrópica y la vigilancia epidemiológica permanente dentro del zoológico.

A continuación, se observan de manera gráfica los resultados seccionados por especies, ordenes y taxones con presencia de la bacteria:

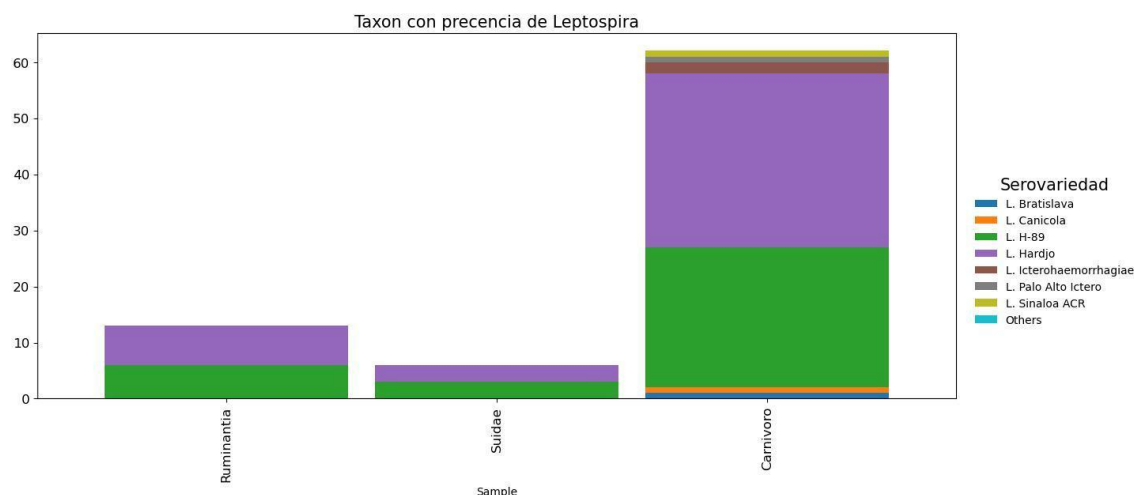
Grafica1. Especies con presencia de *Leptospira*.



Gráfica 2. Ordenes con presencia de *leptospira*.



Gráfica 3. Taxon con presencia de *leptospira*.



En términos generales, la presencia de anticuerpos contra *leptospira spp.* confirma la circulación de la bacteria en el Zoológico de Zacango. Este hallazgo resulta relevante desde la perspectiva de la medicina veterinaria preventiva, ya que señala un riesgo potencial de transmisión tanto hacia otros animales en cautiverio como hacia el personal encargado de su manejo, lo cual refuerza la necesidad de implementar medidas de bioseguridad y monitoreo constante bajo el enfoque de Una Salud.

10. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman la presencia de anticuerpos contra *leptospira spp.* en diversas especies de fauna silvestre mantenidas en cautiverio en el Zoológico de Zacango. La seropositividad observada evidencia una exposición previa a la bacteria y concuerda con investigaciones previas que reportan la circulación de diferentes serovares de *leptospira* en poblaciones de animales silvestres bajo manejo humano y en vida libre (Rojas et al., 2010; Rocha et al., 2021).

La mayor frecuencia de reactividad frente a los serovariedades hardjo, harjdo-89 e icterohaemorrhagiae coincide con lo descrito en estudios realizados en otros zoológicos y colecciones de fauna silvestre, donde dichos serovares han sido identificados como predominantes en carnívoros y primates (García-Peña et al., 2017). Esta variación en los serovares predominantes podría estar relacionada con la presencia de reservorios naturales en el entorno del zoológico, como roedores y animales domésticos periurbanos, que actúan como fuentes de infección.

Asimismo, la seropositividad diferencial entre especies sugiere que factores como el comportamiento, la dieta, el hábitat dentro del zoológico y el grado de contacto con fuentes de

agua contaminada influyen en el riesgo de exposición. En este sentido, estudios realizados en vida libre han demostrado que especies carnívoras y omnívoras presentan mayor seroprevalencia que los herbívoros, debido a su interacción más estrecha con potenciales portadores (Hernández-Rodríguez et al., 2019).

Desde la perspectiva de la salud pública y veterinaria, la detección de *leptospira* en fauna silvestre del Zoológico de Zacango representa un hallazgo de gran relevancia, ya que estas especies pueden actuar como reservorios accidentales o de mantenimiento, constituyendo una fuente potencial de transmisión hacia otros animales en cautiverio y hacia los trabajadores del zoológico. Estos resultados refuerzan la importancia de establecer programas de vigilancia epidemiológica, medidas de bioseguridad y estrategias preventivas orientadas al control de roedores y al manejo adecuado de fuentes de agua, en concordancia con el enfoque Una Salud. Finalmente, este estudio aporta información valiosa para comprender la epidemiología de la leptospirosis en fauna silvestre bajo condiciones de cautiverio en México, y constituye una base para futuras investigaciones que permitan profundizar en la dinámica de transmisión, la identificación de reservorios específicos y la implementación de medidas preventivas más eficaces.

11. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian la presencia de anticuerpos contra *leptospira spp.* en distintas especies de fauna silvestre del Zoológico de Zacango, lo que confirma la circulación de la bacteria en este entorno de cautiverio. La identificación de seropositividad frente a diversos serovares refleja una exposición heterogénea entre las especies evaluadas y sugiere la participación de reservorios potenciales, como roedores sinantrópicos y fauna doméstica periurbana, en la dinámica de transmisión. Este hallazgo reviste especial importancia, ya que posiciona a la fauna silvestre como posible hospedador de mantenimiento o accidental, contribuyendo al riesgo de diseminación hacia otras especies en cautiverio y al personal encargado de su cuidado.

En este contexto, la detección de *leptospira* subraya la necesidad de fortalecer las medidas de bioseguridad, implementar programas de monitoreo epidemiológico continuo y establecer estrategias de control de reservorios, con el fin de reducir la probabilidad de transmisión intra e interespecífica. Asimismo, los resultados aportan información relevante para la comprensión de la epidemiología de la leptospirosis en fauna silvestre bajo condiciones de cautiverio en México, constituyendo una base sólida para investigaciones futuras orientadas a profundizar

en los factores de riesgo, la caracterización de serovares circulantes y la aplicación de medidas preventivas y de control integradas en el marco del enfoque Una Salud.

12. LITERATURA CITADA

- Acosta-España, J. D., Romero-Alvarez, D., Luna, C., & Rodriguez-Morales, A. J. (2024). Infectious disease outbreaks in the wake of natural flood disasters: global patterns and local implications. *Le infezioni in medicina*, 32(4), 451–462. <https://doi.org/10.53854/liim-3204-4>
- Andrade-Silveira, E., Ortega-Pacheco, A., Jiménez-Coello, M., & Cárdenas-Marrufo, M. (2024). Review of leptospirosis in dogs from Mexico: Epidemiology, diagnosis, prevention, and treatment. *Veterinary world*, 17(6), 1356–1361. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.1356-1361>
- Azevedo, I. R., Amamura, T. A., & Isaac, L. (2023). Human leptospirosis: In search for a better vaccine. *Scandinavian journal of immunology*, 98(5), e13316. <https://doi.org/10.1111/sji.13316>
- Caballero Méndez, L. C., Franco Montoya, L. N., Mazo, M. M., Sepúlveda-Arias, J. C., Cardona Tabares, A., & Caro, J. J. (2023). Detección molecular de *Brucella* sp, *Leptospira* spp y *Toxoplasma gondii* en felinos domésticos y silvestres y el impacto zoonótico en el personal encargado de su manejo en Pereira, Colombia. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(1).

- Chávez Sánchez, J. F. (2025). Estudio sobre la seroepidemiología, los factores de riesgo y el aislamiento de la leptospirosis en animales domésticos, silvestres y humanos del noreste de México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Cruz-Romero, A., Gil-Alarcón, G., Luis Ochoa-Valencia, J., Rodrigo Ramos-Vásquez, J., Romero-Salas, D., Becker, I., ... & Arenas, P. (2024). Seroprevalencia de *Leptospira* en perros ferales de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, México. *Revista Científica de la Facultade de Veterinaria*, 34(2).
- da Silva Teixeira, W. I., & Coutinho, D. J. G. (2024). MONITORAMENTO DE LEPTOSPIROSE EM FAUNA SILVESTRE E SUAS IMPLICAÇÕES NA SAÚDE PÚBLICA VETERINÁRIA: ESTRATÉGIAS DE VIGILÂNCIA E CONTROLE. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 10(9), 3147-3155.
- Dias, C. S., & Pinna, M. H. (2025). *Leptospira* biofilms: implications for survival, transmission, and disease management. *Applied and environmental microbiology*, 91(2), e0191424. <https://doi.org/10.1128/aem.01914-24>
- Falcão, B. M. R., Limeira, C. H., de Souza, J. G., Dos Santos Figuerêdo, M. B., de Andrade Moraes, D., & Dos Santos Higino, S. S. (2024). Systematic review and meta-analysis on seroprevalence of leptospirosis in non-human primates worldwide. *Research in veterinary science*, 178, 105342. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105342>
- Foltran, B. B., Gaspar, J. P., Silva, I. R. M., Pires, H. M., Andrade, F. B., Costa, G. M., Paixao, J. E. L., Fernandes, L. G. V., Teixeira, A. F., & Nascimento, A. L. T. O. (2024). New insights into the putative role of leucine-rich repeat proteins of *Leptospira* interrogans and their participation in host cell invasion: an in silico analysis. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 14, 1492352. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1492352>
- Gonçalves-de-Albuquerque, C. F., Cunha, C. M. C. D., Castro, L. V. G., Martins, C. A., Barnese, M. R. C., Burth, P., & Younes-Ibrahim, M. (2023). Cellular Pathophysiology of Leptospirosis: Role of Na/K-ATPase. *Microorganisms*, 11(7), 1695. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071695>
- Hagedoorn, N. N., Maze, M. J., Carugati, M., Cash-Goldwasser, S., Allan, K. J., Chen, K., Cossic, B., Demeter, E., Gallagher, S., German, R., Galloway, R. L., Habuš, J., Rubach, M. P., Shiokawa, K., Sulikhan, N., & Crump, J. A. (2024). Global distribution of *Leptospira* serovar isolations and detections from animal host species: A systematic review and online database. *Tropical medicine & international health : TM & IH*, 29(3), 161–172. <https://doi.org/10.1111/tmi.13965>

- Matiz-González, J. M., Ballesteros-Ballesteros, J. A., Hernández, M., Mejorano-Fonseca, J. A., Cuervo, C., Faccini-Martínez, Á. A., Hidalgo, M., Pérez-Torres, J., & Silva-Ramos, C. R. (2024). Genetic diversity of P1/pathogenic *Leptospira* species hosted by bats worldwide. *Zoonoses and public health*, 71(5), 457–468. <https://doi.org/10.1111/zph.13126>
- Miotto, B. A., Camelo, Q. C., Grolla, A. C. M. M., de Oliveira, A. B. M., Silva, M. M. B., Hagiwara, M. K., & Esteves, S. B. (2024). Current knowledge on leptospirosis in cats: A systematic review with metanalysis on direct detection, serological response, and clinical data. *Research in veterinary science*, 174, 105292. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105292>
- Moustafa, M. A. M., Schlachter, S., & Parveen, N. (2024). Innovative Strategies to Study the Pathogenesis of Elusive Spirochetes and Difficulties Managing the Chronic Infections They Cause. *Annual review of microbiology*, 78(1), 337–360. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-100423-030847>
- Ricardo, T., Azócar-Aedo, L. I., Previtali, M. A., & Monti, G. (2024). Seroprevalence of pathogenic *Leptospira* serogroups in asymptomatic domestic dogs and cats: systematic review and meta-analysis. *Frontiers in veterinary science*, 11, 1301959. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1301959>
- Sayanthi, Y., & Susanna, D. (2024). Pathogenic *Leptospira* contamination in the environment: a systematic review. *Infection ecology & epidemiology*, 14(1), 2324820. <https://doi.org/10.1080/20008686.2024.2324820>
- Strnad, M., Koizumi, N., Nakamura, S., Vancová, M., & Rego, R. O. M. (2024). It's not all about flagella - sticky invasion by pathogenic spirochetes. *Trends in parasitology*, 40(5), 378–385. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2024.03.004>
- Surdel, M. C., & Coburn, J. (2024). Leptospiral adhesins: from identification to future perspectives. *Frontiers in microbiology*, 15, 1458655. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1458655>
- Win, T. Z., Han, S. M., Edwards, T., Maung, H. T., Brett-Major, D. M., Smith, C., & Lee, N. (2024). Antibiotics for treatment of leptospirosis. *The Cochrane database of systematic reviews*, 3(3), CD014960. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD014960.pub2>
- Win, T. Z., Perinpanathan, T., Mukadi, P., Smith, C., Edwards, T., Han, S. M., Maung, H. T., Brett-Major, D. M., & Lee, N. (2024). Antibiotic prophylaxis for leptospirosis. *The Cochrane database of systematic reviews*, 3(3), CD014959. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD014959.pub2>

Zorilla, R., Ching, L. L., Elisara, T., Kramer, K., & Nerurkar, V. R. (2024). Re-Emerging, Under-Recognized Zoonotic, and Neglected Tropical Diseases in Hawai'i. *Japanese journal of infectious diseases*, 77(4), 187–200. <https://doi.org/10.7883/yoken.JJID.2023.476>