

# Detección de *Leptospira* spp. en murciélagos de la península de Yucatán, México

## *Leptospira* spp. detection in bats from the Peninsula of Yucatán, México

Marco Torres-Castro<sup>1\*</sup>, Jesús Alonso Panti-May<sup>1</sup>, María Cristina MacSwiney González<sup>2</sup>, César Lugo-Caballero<sup>3</sup>, Alejandro Suárez-Galaz<sup>1</sup>,  
Melissa Suárez-Galaz<sup>1</sup>, Aarón Yeh-Gorocica<sup>1</sup>, Bayron Cruz-Camargo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Yucatán, Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", Laboratorio de Zoonosis y otras Enfermedades Transmitidas por Vector. Mérida, Yucatán, México.

<sup>2</sup>Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales, Xalapa Enriquez, Veracruz, México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Yucatán, Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", Laboratorio de Enfermedades Emergentes y Reemergentes. Mérida, Yucatán, México.

\*Autor correspondencia: [antonio.torres@correo.uady.mx](mailto:antonio.torres@correo.uady.mx)

### RESUMEN

Los registros de *Leptospira* spp. en murciélagos de México son escasos. Se conoce que varias especies de murciélagos son hospedadores de *Leptospiras* patógenas, por lo que participan en el ciclo epidemiológico y pueden generar escenarios de transmisión hacia personas y animales. El objetivo fue detectar ADN de *Leptospira* spp. en murciélagos capturados en cuatro sitios de la península de Yucatán, México. De los murciélagos se recolectó un fragmento de riñón que se usó para extraer ADN genómico. Por medio de PCR se detectó ADN de *Leptospira* spp. Se trabajaron 54 murciélagos de las especies *Desmodus rotundus*, *Mimon cozumelae*, *Pteronotus mesoamericanus*, *Pteronotus fulvus*, *Nyctinomops laticaudatus*, *Peropteryx macrotis*, *Molossus nigricans*, *Molossus aztecus*, *Noctilio leporinus*, *Saccopteryx bilineata* y *Mormoops megalophylla*. La PCR arrojó una frecuencia total de *Leptospira* spp. de 44,4 % (24/54, IC 95 % 36,2–71,7 %). Las especies con al menos un individuo positivo fueron *D. rotundus*, *M. cozumelae*, *P. mesoamericanus*, *N. laticaudatus*, *P. macrotis*, *M. nigricans*, *N. leporinus*, *M. aztecus* y *S. bilineata*. Se encontró una alta frecuencia de *Leptospira* spp. en distintas especies de murciélagos pertenecientes a varios gremios tróficos. La presencia de *Leptospira* spp. en murciélagos es importante para la salud pública y animal debido a que las evidencias señalan que pueden generar ciclos de transmisión zoonóticos.

**Palabras clave:** Epidemiología; especies; *Leptospira*; murciélago; infección

### ABSTRACT

The records of *Leptospira* spp. in bats from México are scarce. It is known that several species of bats are hosts of pathogenic *Leptospira* spp.; therefore, they participate in the epidemiological cycle and can generate transmission scenarios to people and animals. The aim was to detect the DNA of *Leptospira* spp. in bats captured in four sites from the Yucatán Peninsula, México. A kidney fragment was collected from the bats and used to extract genomic DNA. Using a PCR, the DNA of *Leptospira* spp. was detected. Fifty-four bats of the species *Desmodus rotundus*, *Mimon cozumelae*, *Pteronotus mesoamericanus*, *Pteronotus fulvus*, *Nyctinomops laticaudatus*, *Peropteryx macrotis*, *Molossus nigricans*, *Molossus aztecus*, *Noctilio leporinus*, *Saccopteryx bilineata* and *Mormoops megalophylla* were studied. The PCR yielded a total frequency of *Leptospira* spp. of 44.4% (24/54, 95% CI 36.2–71.7%). Species with at least one positive individual were *D. rotundus*, *M. cozumelae*, *P. mesoamericanus*, *N. laticaudatus*, *P. macrotis*, *M. nigricans*, *N. leporinus*, *M. aztecus*, and *S. bilineata*. A high frequency of *Leptospira* spp. was found in different species of bats belonging to several trophic guilds. The presence of *Leptospira* spp. in bats is relevant for Public and Animal Health because the evidence indicates that they can generate zoonotic transmission cycles.

**Key words:** Epidemiology; species; *Leptospira*; bat; infection

## INTRODUCCIÓN

*Leptospira* es un género de espiroquetas conformado por especies saprófitas de vida libre y especies patógenas que ocasionan una enfermedad zoonótica, conocida como leptospirosis, en animales (domésticos y de compañía) y humanos (considerado un hospedador accidental en el ciclo de transmisión) [1, 2]. Anualmente, se registran más de un millón de casos nuevos de leptospirosis humana con una mortalidad aproximada al 10 %, principalmente en habitantes de países de Latinoamérica con climas tropicales y subtropicales [2, 3]. En México, la leptospirosis se distribuye en casi todas las regiones, incluida la península de Yucatán en el sureste del país, y se presenta durante todo el año con un incremento en su prevalencia de agosto a septiembre, debido al aumento de la precipitación pluvial y las inundaciones [4].

Actualmente se reconocen 68 especies validadas del género *Leptospira* que se agrupan en cuatro subclados (P1, P2 [grupos patógenos], S1 y S2 [grupos saprófitos]), divididos según su grado de patogenicidad y virulencia, entre otras características [5]. Las especies patógenas se multiplican en los túbulos renales de los reservorios u hospedadores infectados [6], por lo que son necesarios para generar, expandir y mantener los ciclos de transmisión a través de la expulsión de bacterias viables en su orina, que contamina distintos medios como fuentes naturales de agua (ríos, lagos, entre otros), suelo húmedo y lodo, con los que eventualmente tienen contacto otros hospedadores susceptibles, incluyendo personas y animales silvestres [7].

Se ha reportado que algunos mamíferos silvestres son portadores renales y excretan bacterias en su orina [7, 8], generando ciclos zoonóticos de transmisión de especies patógenas de *Leptospira* en los que intervienen accidentalmente los humanos y algunos animales domésticos [4]. Dentro de este tipo de fauna, los murciélagos son reconocidos como portadores renales de especies patógenas como *L. interrogans*, *L. borgpetersenii*, *L. kirschneri*, *L. santarosai* y *L. faine* [9, 10]. De igual forma, se ha descrito que, debido a su amplia distribución y elevada abundancia de varias de sus especies, contribuyen al mantenimiento y diseminación de *Leptospira* spp. en áreas endémicas [11].

En la península de Yucatán, México, existen reportes de *Leptospira* spp. en animales silvestres, incluidos roedores [12], musarañas (*Cryptotis mayensis*) [13] y murciélagos [14]; no obstante, los estudios concluyen que, para comprender mejor la interacción entre la fauna silvestre y el género bacteriano, y aumentar el conocimiento sobre los posibles escenarios de transmisión que comparten los reservorios y hospedadores susceptibles, incluyendo los murciélagos, deben identificarse la mayor cantidad de portadores renales [11, 14]. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue reportar la presencia de *Leptospira* spp. en murciélagos capturados en sitios de la península de Yucatán, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estándares bioéticos

La metodología de captura de murciélagos y el trabajo de laboratorio fueron aprobados por el Comité de Bioética del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Mérida, México (actas: CB-CCBA-I-2018-001 y CB-CCBA-I-2020-002). La extracción de los murciélagos se realizó con permiso de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de México (actas: SGPA/DGVS/05995/19 y SGPA/DGVS/00786/21).

### Tipo y sitios de estudio

El tipo de estudio fue transversal descriptivo. La captura se realizó en tres sitios del estado de Yucatán, y uno del estado de Campeche. Los sitios en Yucatán fueron: Dzoyaxché (20°47'17.10" N, 89°35'27.66" W), Homún (20°44'24.94" N, 89°17'08.24" W) y Calcehtok (20°33'02.5" N, 89°54'44.4" W). El sitio de Campeche fue El Remate (20°30'25.2" N, 90°23'03.0" W) (FIG. 1). La captura de murciélagos se realizó en noviembre (Dzoyaxché) y diciembre (Homún y El Remate) de 2020, y febrero (Calcehtok) de 2021.

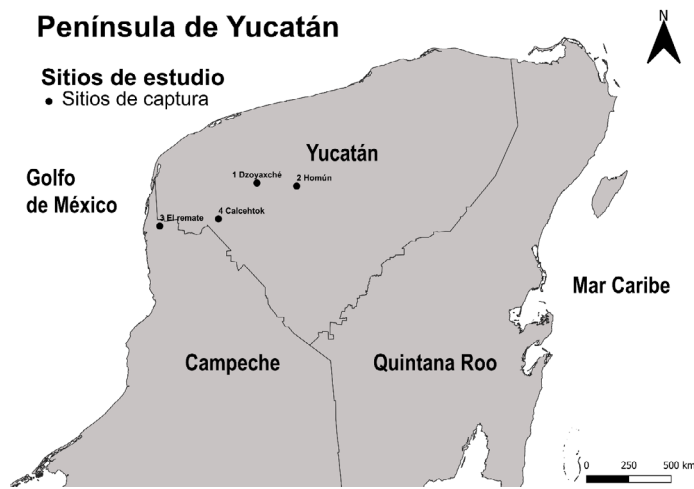


FIGURA 1. Ubicación geográfica de los sitios de captura (puntos) en la península de Yucatán, México

### Captura de murciélagos y toma de muestras biológicas

En cada sitio de estudio se colocaron de una a dos redes de niebla (12 m × 2.5 m) en áreas cercanas a vegetación, fuentes naturales o artificiales de agua, corrales de animales, entradas de cuevas o en otros lugares de tránsito de murciélagos. Las redes se colocaron de una a dos noches consecutivas, una vez por mes, en cada sitio de estudio y se mantuvieron abiertas de 18:00 a 23:00 horas [15].

Los murciélagos capturados fueron retirados de las redes y depositados en bolsas de tela para su traslado a las instalaciones del Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi" (CIR), UADY. Las especies capturadas se identificaron con ayuda de la clave de campo de Medellín y col. [16].

### Procesamiento de murciélagos

Los murciélagos fueron anestesiados con isoflurano (Piramal Enterprises Limited®, India) y, posteriormente, se les aplicó la eutanasia con una sobredosis de pentobarbital sódico (Laboratorios Aranda®, México) vía intracardiaca. Una vez corroborada la muerte del animal, se realizó un corte en la línea alba del cuerpo para colectar de manera aséptica un riñón que se colocó en tubos para microcentrifuga de 1,8 mL (Axygen®, MCT-200-C, Corning®, México), embebidos en etanol al 96 % y conservados en ultracongelación a -79°C (Thermo Scientific®, ULT1786-4-A49, Thermo Fisher Scientific®, Estados Unidos de América [EUA]) hasta su uso en la extracción de ácido desoxirribonucleico (ADN) genómico.

### Extracción de ADN genómico y detección de *Leptospira* spp.

Todos los riñones se lavaron con agua bidestilada y esterilizada para retirar el exceso de etanol. La extracción de ADN genómico se realizó con 20 mg del órgano, que incluyeron corteza y médula, siguiendo las instrucciones del kit Wizard® Genomic DNA Purification (Promega®, A1125, EUA). La evaluación del ADN extraído para conocer su concentración y pureza se realizó con un espectrofotómetro (Thermo Scientific®, Nanodrop 2000®, EUA).

La identificación del género *Leptospira* se hizo con una reacción en cadena de la polimerasa (PCR por sus siglas en inglés) convencional dirigida a una región del gen ARN ribosomal 16S (*16S-rRNA*), conservado en todas las especies del género *Leptospira*. Para esto, se siguió la metodología descrita por Suárez-Galaz *et al.* [13] (únicamente para *16S-rRNA*). Brevemente, se utilizó una mezcla con un volumen final de 25 µL compuesta de: 2,5 µL PCR Buffer 1X; 2,5 µL MgCl<sub>2</sub>; 0,5 µL dNTPs; 0,5 µL de cada oligonucleótido; 0,2 µL Taq ADN polimerasa (Fermentas®, EUA); 13,3 µL agua ultra pura y 5 µL ADN molde. Los oligonucleótidos utilizados en la PCR fueron:

- 16S4F-GAACGGGATTAGATACC [18]
- 6S6R-CCTAGACATAAAGGCCATGA [19]

que generan un amplicón de 440 pares de bases (pb). Las condiciones de temperatura fueron: desnaturalización inicial 95 °C por 5 min, seguida de 35 ciclos: 1) 95 °C, 30 s; 2) 58 °C, 30 s; 3) 72 °C, 30 s. La elongación final fue a 72 °C por 5 min.

En cada reacción se utilizó como control positivo ADN de *L. interrogans*, y como control negativo se empleó la mezcla estandarizada para la PCR sin ADN molde. La electroforesis de los productos de PCR se hizo en geles de agarosa al 2 % que fueron teñidos con bromuro de etidio al 8 %. Los resultados se visualizaron y registraron en un fotodocumentador (Bio-Rad®, Gel DocTM XR+, EUA) [17].

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se capturaron 54 murciélagos pertenecientes a cinco familias (Emballonuridae, Noctilionidae, Mormoopidae, Phyllostomidae, y Molossidae) y 11 especies (*Pteropteryx macrotis*, *Saccopteryx bilineata*, *Noctilio leporinus*, *Mormoops megalophylla*, *Pteronotus fulvus*, *Pteronotus mesoamericanus*, *Desmodus rotundus*, *Mimon cozumelae*, *Molossus aztecus*, *Molossus nigricans* y *Nyctinomops laticaudatus*). Las familias, especies y el número de murciélagos capturados en cada sitio de estudio se presentan en la TABLA I.

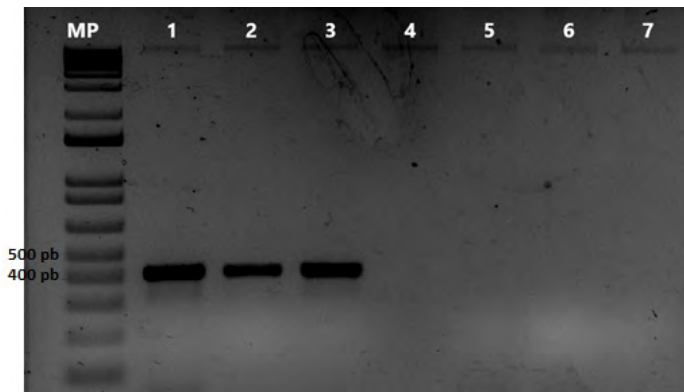
Los resultados de la PCR demostraron una frecuencia global de *Leptospira* spp. del 44,4 % (24/54; IC 95 % 36,2–71,7 %). En la FIG. 2 se presenta un gel de poliacrilamida con las bandas electroforéticas del tamaño esperado correspondiente a una región del gen *16S-rRNA* de *Leptospira* spp.

Como se observa en la TABLA I, todas las familias de murciélagos tuvieron por lo menos un individuo positivo. Las especies con al menos un individuo positivo fueron: *D. rotundus*, *M. cozumelae*, *P. mesoamericanus*, *N. laticaudatus*, *P. macrotis*, *M. nigricans*, *N. leporinus*, *M. aztecus* y *S. bilineata*. Las especies con el mayor número de positivos fueron *N. laticaudatus* y *M. nigricans*, con cinco individuos, que corresponde al 20,8 % (5/24) del total de positivos (n = 24). El sitio con el mayor número de murciélagos positivos fue Homún, con 12 infectados, lo que representa el 50 % (12/24) del total de positivos (n = 24). El único sitio donde no se registraron murciélagos con *Leptospira* spp. fue Calcehtok.

Los murciélagos de la península de Yucatán han sido relacionados con diversos agentes etiológicos de importancia en salud pública y veterinaria como *Toxoplasma gondii* [20], *Trypanosoma cruzi* [21], virus del oeste del Nilo y virus Zika [22], *Rickettsia typhi*, *R. felis* y *R. rickettsii* [23] y diferentes especies de helmintos [15, 24], por lo que se han convertido en uno de los taxones de mamíferos más relevantes en las investigaciones que tienen como objetivo comprender la epidemiología de estos agentes etiológicos endémicos.

**TABLA I**  
Sitios de captura, familias, especies, gremio trófico e individuos capturados y positivos a *Leptospira* spp. en los sitios de la península de Yucatán, México

Sitios de captura	Familias	Especies/Gremio trófico	Individuos capturados	Positivos a <i>Leptospira</i> spp. (%)
Dzoyaxché	Mormoopidae	<i>Pteronotus mesoamericanus</i> / Insectívoro	3	1 (4,2)
	Phyllostomidae	<i>Desmodus rotundus</i> / Hematófago	1	1 (4,2)
		<i>Mimon cozumelae</i> / Insectívoro–carnívoro	4	4 (16,7)
Homún	Emballonuridae	<i>Pteropteryx macrotis</i> / Insectívoro	2	2 (8,3)
	Molossidae	<i>Molossus nigricans</i> / Insectívoro	6	5 (20,8)
		<i>Nyctinomops laticaudatus</i> / Insectívoro	9	5 (20,8)
El Remate	Emballonuridae	<i>Saccopteryx bilineata</i> / Insectívoro	4	2 (8,3)
	Noctilionidae	<i>Noctilio leporinus</i> / Piscívoro	4	3 (12,5)
	Molossidae	<i>Molossus aztecus</i> / Insectívoro	1	1 (4,2)
Calcehtok	Mormoopidae	<i>Mormoops megalophylla</i> / Insectívoro	11	0 (0)
	Molossidae	<i>Pteronotus fulvus</i> / Insectívoro	6	0 (0)
		<i>Nyctinomops laticaudatus</i> / Insectívoro	3	0 (0)
Total			54	24 (100)



**FIGURA 2.** Gel representativo que muestra algunos de los productos de PCR positivos a *Leptospira* spp. en murciélagos capturados en sitios de la península de Yucatán, México. MP: Marcador de peso molecular de 100 pares de bases (pb) 1Kb Plus DNA Ladder (Invitrogen®, Thermo Fisher Scientific®, Lituania). 1. Control positivo (*L. interrogans*). 2 y 3. Productos positivos (440 pb). 4, 5 y 6. Productos negativos. 7. Control negativo

La asociación entre el género *Leptospira* y los murciélagos de la península de Yucatán fue previamente descrita por Torres-Castro y col. [14] y Suárez-Galaz [25], que registraron la infección en *P. mesoamericanus* y *A. jamaicensis* del estado de Campeche, y *Chiroderma villosum*, *A. jamaicensis*, *D. rotundus*, *Glossophaga mutica*, *Sturnira parvidens* y *A. lituratus* de Yucatán. A nivel nacional, Ballados-González y col. [26] reportaron la presencia de *Leptospira* spp. en *A. lituratus*, *Choeroniscus godmani* y *D. rotundus* capturados en el estado de Veracruz. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo permiten la incorporación de nuevas especies portadoras de *Leptospira* spp. (*M. cozumelae*, *P. mesoamericanus*, *N. laticaudatus*, *P. macrotis*, *M. nigricans*, *N. leporinus*, *M. aztecus* y *S. bilineata*), evidenciando una vez más la diversidad de murciélagos de México que son potenciales reservorios del género *Leptospira*.

A pesar de todos estos hallazgos, la intervención de los murciélagos en la epidemiología de *Leptospira* spp. no está del todo entendida [27]; no obstante, numerosos estudios los clasifican como reservorios de varias especies patógenas debido a que se ha demostrado que sufren de infecciones crónicas en el riñón [28] y que son capaces de excretar bacterias viables en su orina [29], contaminando medios como suelo y fuentes de agua, que tienen contacto con hospedadores susceptibles (incluyendo los humanos y animales domésticos), manteniendo de esta manera el ciclo de transmisión [30]. En este sentido, se sabe que varias especies patógenas de *Leptospira* son capaces de infectar a varios animales domésticos y de compañía, entre ellos cerdos (*Sus scrofa domesticus*), vacas (*Bos taurus*), caballos (*Equus caballus*), ovejas (*Ovis aries*), cabras (*Capra hircus*), perros (*Canis lupus familiaris*) y gatos (*Felis catus*), los cuales, al ser susceptibles a la infección, pueden desarrollar la enfermedad [2].

Otro de los aspectos por el cual se clasifica a los murciélagos como reservorios es que, hasta el momento, en individuos infectados con especies patógenas de *Leptospira*, no se ha descrito la presencia de signos clínicos [11].

Los registros de casos de leptospirosis humana asociados con el contacto directo o indirecto con murciélagos son escasos alrededor del mundo, por lo que no ha sido posible relacionarlos definitivamente con la transmisión de *Leptospira* spp. a los humanos, a pesar de que muchas especies de murciélagos toleran y circulan

en los ambientes urbanizados, lo que aumenta el riesgo de contacto y transmisión zoonótica de patógenos [31]. En este sentido, Vashi y col. [30] describieron un caso de leptospirosis en una persona que contrajo la infección por contacto con agua contaminada con orina de murciélago. Recientemente, Nguyen y Chimunda [32] describieron un caso de neuroleptospirosis severa con una manifestación inusual de hemorragia subaracnoidea no traumática, resultante de la exposición a murciélagos. Por el contrario, el estudio de Bessa y col. [33] concluye que los murciélagos no tienen importancia epidemiológica para la transmisión de *Leptospira* spp. en habitantes de un área endémica de la ciudad de Sao Paulo, Brasil. Por estos motivos, es necesario realizar investigaciones para comprender la contribución de los murciélagos en el riesgo de transmisión zoonótica de *Leptospira* spp. a humanos y animales domésticos o de compañía, y de esta forma, evitar posibles escenarios de contagio y brotes de leptospirosis [34].

La frecuencia de detección de ADN del género *Leptospira* en los murciélagos de este trabajo fue del 44,4%. En los estudios previamente realizados con murciélagos de México se reportan frecuencias del 21,7% (15/69) en Campeche y Yucatán [14], 30,9% (25/81) en Veracruz [26] y 21,9% (18/82) en Yucatán [25]. De igual manera, a nivel internacional, numerosos trabajos obtuvieron frecuencias con valores distintos a la de esta investigación. Por ejemplo, con murciélagos capturados en la provincia de Hubei, China, Zhao y col. [34] describen una frecuencia de 57% (34/60); mientras que, en la región caribeña de Colombia, Mateus y col. [35], obtuvieron una frecuencia de 26,9% (7/26). Recientemente, en Fiji, McCutchan y col. [36] reportaron una frecuencia de 49% (38/78) en orina de murciélagos infectados con *Leptospira* spp.

Por otra parte, también son comunes los estudios donde se reporta *Leptospira* spp. en murciélagos pertenecientes a varios gremios tróficos. Por ejemplo, en Colombia, Mateus y col. [35] detectaron *Leptospira* spp. en murciélagos frugívoros, nectarívoros y hematófagos. En Brasil, Mayer y col. [37] encontraron especies infectadas de hábitos alimenticios insectívoros y nectarívoros, por lo que concluyeron que no existe asociación epidemiológica entre los gremios tróficos con la presencia del género bacteriano. Por lo contrario, Javati y col. [38] reportaron únicamente la infección en murciélagos frugívoros de la familia Pteropodidae.

Debido a este panorama, en donde se ha identificado la infección con *Leptospira* spp. en murciélagos de distintos gremios tróficos, y aunque se ha hipotetizado que la presencia de *Leptospira* spp. en poblaciones y comunidades de murciélagos se debe al compartir sitios de refugio y restos de alimento contaminado con orina de roedores [39, 40], puede sugerirse que la transmisión en los murciélagos se debe principalmente a factores como la contaminación de fuentes ambientales (agua de bebida, suelo húmedo, entre otras) [37, 41] y las conductas que permiten el contacto directo entre ellos (acicalamiento, disputas, entre otras) [11]. De igual forma, se ha mencionado que la preferencia de hábitat (entornos silvestres o antropizados) y el origen geográfico, influyen de manera directa en la infección de los murciélagos con *Leptospira* spp. [33, 41]. Por lo tanto, se necesitan más investigaciones para determinar los factores y las condiciones que generan la interacción entre murciélagos de distintos gremios tróficos que permite la transmisión del género *Leptospira* [29].

Dentro de los limitantes de este estudio puede mencionarse la falta de información sobre las especies de *Leptospira* en los murciélagos infectados. En este aspecto, las especies reportadas en murciélagos de la península de Yucatán son *L. noguchii*, *L. borgpetersenii* y *L. santarosai* [12].



## CONCLUSIONES

Nuevas especies de murciélagos se incorporan a la lista existente de especies portadoras de *Leptospira* spp., ampliando los rangos en cuanto a diversidad sin aparente asociación al gremio trófico. La frecuencia encontrada de *Leptospira* spp. es superior a las registradas en trabajos previos realizados con murciélagos de México; no obstante, en esta investigación no se exploraron los factores o condiciones que influyen en la variación de estas frecuencias. La presencia de *Leptospira* spp. en murciélagos es importante para la salud pública y animal porque las evidencias señalan que pueden ser fuente de contagio para las personas y animales domésticos.

## Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Coburn J, Picardeau M, Woods CW, Veldman T, Haake, DA. Pathogenesis insights from an ancient and ubiquitous spirochete. *PLoS Pathog.* [Internet]. 2021; 17(10):e1009836. doi: <https://doi.org/kq29>
- [2] Torres-Castro M, Hernández-Betancourt S, Agudelo-Flórez P, Arroyave-Sierra E, Zavala-Castro J, Puerto FI. Revisión actual de la epidemiología de la leptospirosis. *Rev. Med. Inst. Mex. Seguro Soc.* 2016; 54(5):620-5. PMID: 27428344.
- [3] Costa F, Hagan JE, Calcagno J, Kane M, Torgerson P, Martinez-Silveira MS, Stein C, Abela-Ridder B, Ko AI. Global morbidity and mortality of leptospirosis: A systematic review. *PLoS Negl. Trop. Dis.* [Internet]. 2015; 9(9):e0003898. doi: <https://doi.org/b7sd>
- [4] Yescas-Benítez JE, Rivero-Perez N, Montiel-Díaz HE, Valladares-Carranza B, Peláez-Acero A, Morales-Ubaldo AL, Zaragoza-Bastida A. Comportamiento epidemiológico de la leptospirosis en México durante el periodo 2013-2019. *Rev. Salud Publ.* [Internet]. 2020; 22(4):421-7. doi: <https://doi.org/kq3c>
- [5] Lata KS, Kumar S, Vindal V, Patel S, Das J. A core and pan gene map of *Leptospira* genus and its interactions with human host. *Microb. Pathog.* [Internet]. 2022; 162:105347. doi: <https://doi.org/kq3d>
- [6] Santos AAN, Ribeiro PDS, da França GV, Souza FN, Ramos EAG, Figueira CP, Reis MG, Costa F, Ristow P. *Leptospira interrogans* biofilm formation in *Rattus norvegicus* (Norway rats) natural reservoirs. *PLoS Negl. Trop. Dis.* [Internet]. 2021; 15(9):e0009736. doi: <https://doi.org/kq3f>
- [7] Azócar-Aedo L. Basic aspects and epidemiological studies on leptospirosis carried out in animals in Chile: A bibliographic review. *Trop. Med. Infect. Dis.* [Internet]. 2023; 8(2):97. doi: <https://doi.org/kq3h>
- [8] Cilia G, Bertelloni F, Albin S, Fratini F. Insight into the epidemiology of leptospirosis: A review of *Leptospira* Isolations from "unconventional" hosts. *Animals.* [Internet]. 2021; 11(1):191. doi: <https://doi.org/kq3j>
- [9] Monroy FP, Solari S, Lopez JÁ, Agudelo-Flórez P, Peláez-Sánchez RG. High diversity of *Leptospira* species infecting bats captured in the Urabá Region (Antioquia-Colombia). *Microorganisms.* [Internet]. 2021; 9(9):1897. doi: <https://doi.org/kq3k>
- [10] Mühlendorfer K. Bats and bacterial pathogens: a review. *Zoonoses Public Health.* [Internet]. 2013; 60(1):93-103. doi: <https://doi.org/f4hsbm>
- [11] Dietrich M, Mühlendorfer K, Tortosa P, Markotter W. *Leptospira* and bats: Story of an emerging friendship. *PLoS Pathog.* [Internet]. 2015; 11(11):e1005176. doi: <https://doi.org/kq3n>
- [12] Torres-Castro M, Cruz-Camargo B, Medina-Pinto R, Reyes-Hernández B, Moguel-Lehmer C, Medina R, Ortiz-Esquivel J, Arcila-Fuentes W, López-Ávila A, Noh-Pech H, Panti-May A, Rodríguez-Vivas I, Puerto FI. Detección molecular de leptospirosis patógenas en roedores sinantrópicos y silvestres capturados en Yucatán, México. *Biomed.* [Internet]. 2018; 38(Suppl 2):51-8. doi: <https://doi.org/kq3q>
- [13] Suárez-Galaz AR, Hernández-Betancourt S, Panti-May JA, Manrique-Saide P, Torres-Castro M. Evidencia de *Leptospira* spp. en musarañas *Cryptotis mayensis*. Nuevo hospedero en Yucatán, México. *Rev. Biomed.* [Internet]. 2021; 32(3):161-5. doi: <https://doi.org/kq3r>
- [14] Torres-Castro M, Febles-Solís V, Hernández-Betancourt S, Noh-Pech H, Estrella E, Peláez-Sánchez R, Panti-May A, Herrera-Flores B, Reyes-Hernández B, Sosa-Escalante J. *Leptospira* patógenas en murciélagos de Campeche y Yucatán, México. *Rev. MVZ. Cordoba.* [Internet]. 2020; 25(2):e1815. doi: <https://doi.org/kq3t>
- [15] Moguel-Chin WI, Hernández-Mena DI, Torres-Castro M, Barrientos-Medina RC, Hernández-Betancourt SF, MacSwiney G. MC, García-Prieto L, Vidal-Martínez VM, Selem-Salas CI, Panti-May JA. Survey on helminths of bats in the Yucatan Peninsula: infection levels, molecular information and host-parasite networks. *Parasitology.* [Internet]. 2023; 150(2):172-83. doi: <https://doi.org/kq3x>
- [16] Medellín R, Harita H, Sánchez O. Identificación de los Murciélagos de México. Clave de Campo, 2nd ed. Ciudad de México: Instituto de Ecología. 2008; p 26-63.
- [17] Dzib-Paredes G, Rodríguez-Vivas RI, Panti-May A, Noh-Pech H, Rosado-Aguilar JA, Torres-Castro M. Frecuencia de *Borrelia burgdorferi sensu lato* y *Leptospira* spp. en pequeños roedores de Yucatán, México. *Rev. Cientif. Fac. Cien. Vet.* [Internet]. 2022; 32:1-8. doi: <https://doi.org/krvq>
- [18] Haake DA, Suchard MA, Kelly MM, Dundoo M, Alt DP, Zuerner RL. Molecular evolution and mosaicism of leptospiral outer membrane proteins involves horizontal DNA transfer. *J. Bacteriol.* [Internet]. 2004; 186(9):2818-28. doi: <https://doi.org/c9bctm>
- [19] Shukla J. *16S rRNA* PCR for differentiation of pathogenic and non-pathogenic *leptospira* isolates. *Indian J. Med. Microbiol.* 2003; 21(1):25-30. PMID: 17642970.
- [20] Torres-Castro M, Muñoz-Deñás D, Hernández-Betancourt S, Bolio-González M, Noh-Pech H, Peláez-Sánchez R, Sosa-Escalante J. Infección con *Toxoplasma gondii* (Eucoccidiorida: Sarcocystidae) en murciélagos de Campeche y Yucatán, México. *Rev. Biol. Trop.* 2019; 67(3):633-42.
- [21] Torres-Castro M, Cuevas-Koh N, Hernández-Betancourt S, Noh-Pech H, Estrella E, Herrera-Flores B, Panti-May JA, Waleckx E, Sosa-Escalante J, Peláez-Sánchez R. Natural infection with *Trypanosoma cruzi* in bats captured in Campeche and Yucatán, México. *Biomed.* [Internet]. 2021; 41(Supl.1):131-40. doi: <https://doi.org/gh3j>

- [22] Torres-Castro M, Noh-Pech H, Hernández-Betancourt S, Peláez-Sánchez R, Lugo-Caballero C, Puerto FI. West Nile and Zika viruses in bats from a suburban area of Merida, Yucatan, Mexico. *Zoonoses Public Health*. [Internet]. 2021; 68(7):834–41. doi: <https://doi.org/kq3z>
- [23] Lugo-Caballero C, Torres-Castro M, López-Ávila K, Hernández-Betancourt S, Noh-Pech H, Tello-Martín R, Puerto-Manzano F, Dzúl-Rosado K. Molecular identification of zoonotic *Rickettsia* species closely related to *R. typhi*, *R. felis*, *R. rickettsii* in bats from Mexico. *Indian J. Med. Res.* [Internet]. 2021; 154(3):536–8. doi: <https://doi.org/kq32>
- [24] Panti-May JA, Hernández-Mena DI, Torres-Castro MA, Estrella-Martínez E, Lugo-Caballero C, Vidal-Martínez VM, Hernández-Betancourt SF. Morphological and molecular identification of helminths of the greater bulldog bat *Noctilio leporinus* (Quiroptera: Noctilionidae) from Campeche, Mexico. *Parasitol. Int.* [Internet]. 2021; 82:102302. doi: <https://doi.org/kq33>
- [25] Suárez-Galaz AR. Detección molecular de *Leptospira* spp. en quirópteros y roedores silvestres capturados en el estado de Yucatán, México. [Tesis de Licenciatura]. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán; 2020 [citado 05 jun 2023]. 55 p.
- [26] Ballados-González GG, Sánchez-Montes S, Romero-Salas D, Colunga-Salas P, Gutiérrez-Molina R, León-Paniagua L, Becker I, Méndez-Ojeda ML, Barrientos-Salcedo C, Serna-Lagunes R, Cruz-Romero, A. Detection of pathogenic *Leptospira* species associated with phyllostomid bats (Mammalia: Chiroptera) from Veracruz, Mexico. *Transbound. Emerg. Dis.* [Internet]. 2018; 65(3):773–81. doi: <https://doi.org/gdjj3g>
- [27] Szentivanyi T, McKee C, Jones G, Foster JT. Trends in bacterial pathogens of bats: Global distribution and knowledge gaps. *Transbound. Emerg. Dis.* [Internet]. 2023; 2023:1–17. doi: <https://doi.org/kq35>
- [28] Bevans AI, Fitzpatrick DM, Stone DM, Butler BP, Smith MP, Cheetham S. Phylogenetic relationships and diversity of bat-associated *Leptospira* and the histopathological evaluation of these infections in bats from Grenada, West Indies. *PLoS Negl. Trop. Dis.* [Internet]. 2020; 14(1):e0007940. doi: <https://doi.org/kq36>
- [29] Ulsenheimer BC, von Laer AE, Tonin AA, Campos AAS, Dos Santos HF, Sangioni LA, de Avila-Botton S. *Leptospira interrogans* in bats in Rio Grande do Sul State, Brazil: epidemiologic aspects and phylogeny. *Braz. J. Microbiol.* [Internet]. 2022; 53(4):2233–40. doi: <https://doi.org/kq37>
- [30] Vashi NA, Reddy P, Wayne DB, Sabin B. Bat-associated leptospirosis. *J. Gen. Intern. Med.* [Internet]. 2010; 25(2):162–4. doi: <https://doi.org/cnc28n>
- [31] Eby P, Peel AJ, Hoegh A, Madden W, Giles JR, Hudson PJ, Plowright RK. Pathogen spillover driven by rapid changes in bat ecology. *Nature*. [Internet]. 2023; 613(7943):340–4. doi: <https://doi.org/jmr5>
- [32] Nguyen L, Chimunda T. Neuro-leptospirosis – A batty diagnostic enigma. *IDCases*. [Internet]. 2023; 32:e01731. doi: <https://doi.org/kq38>
- [33] Bessa TA, Spichler A, Chapola EG, Husch AC, de Almeida MF, Sodré MM, Savani ES, Sacramento DR, Vinetz JM. The contribution of bats to leptospirosis transmission in Sao Paulo City, Brazil. *Ame. J. Trop. Med. Hyg.* [Internet]. 2010; 82(2):315–7. doi: <https://doi.org/fpq3fs>
- [34] Zhao M, Xiao X, Han HJ, Wang LJ, Lei SC, Liu JW, Qi R, Qin XR, Yu H, Yu XJ. *Leptospira* in Bats from Hubei Province, China, 2018. *J. Wildl. Dis.* [Internet]. 2019; 55(4):940–3. doi: 10.7589/2019-01-009.
- [35] Mateus J, Gómez N, Herrera-Sepúlveda MT, Hidalgo M, Pérez-Torres J, Cuervo C. Bats are a potential reservoir of pathogenic *Leptospira* species in Colombia. *J. Infect. Dev. Ctries.* [Internet]. 2019; 13(4):278–83. doi: <https://doi.org/grssvg>
- [36] McCutchan JL, Knox MA, Naikatin A, Hayman DTS, Gartrell BD. Molecular evidence of *Leptospira* spp. in isolated Fijian bats. *J. Wildl. Dis.* [Internet]. 2023; 59(1):202–6. doi: <https://doi.org/kq39>
- [37] Mayer FO, Dos Reis EM, Bezerra AVA, Cerva C, Rosa J, Cibulski SP, Lima FES, Pacheco SM, Rodrigues RO. Pathogenic *Leptospira* spp. in bats: Molecular investigation in Southern Brazil. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* [Internet]. 2017; 52:14–8. doi: <https://doi.org/kq4b>
- [38] Javati S, Guernier-Cambert V, Jonduo M, Robby S, Kimopa J, Maure T, McBryde ES, Pomat W, Aplin K, Helgen KM, Abdad MY, Horwood PF. Diversity of *Leptospira* spp. in bats and rodents from Papua New Guinea. *Transbound. Emerg. Dis.* [Internet]. 2022; 69(6):4048–54. doi: <https://doi.org/kq4c>
- [39] Harkin KR, Hays M, Davis R, Moore M. Use of PCR to identify *Leptospira* in kidneys of big brown bats (*Eptesicus fuscus*) in Kansas and Nebraska, USA. *J. Wildl. Dis.* [Internet]. 2014; 50(3):651–4. doi: <https://doi.org/f6bcb7>
- [40] Lagadec E, Gomard Y, Guernier V, Dietrich M, Pascalis H, Temmam S, Ramasindrazana, B, Goodman SM, Tortosa P, Dellagi K. Pathogenic *Leptospira* spp. in bats, Madagascar and Union of the Comoros. *Emerg. Infect. Dis.* [Internet]. 2012; 18(10):1696–8. doi: <https://doi.org/kq4d>
- [41] Esteves SB, Gaeta NC, Batista JMN, Dias RA, Heinemann MB. *Leptospira* spp. infection in bats: A systematic review and meta-analysis. *Transbound. Emerg. Dis.* [Internet]. 2022; 69(5):e2456–73. doi: <https://doi.org/kq4f>