



**Universidad Autónoma de Tlaxcala**

---

**Posgrado en Ciencias Biológicas**

Factores asociados a la infección de sifonápteros  
en roedores de una región templada del centro de  
México

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

P r e s e n t a

Jorge Ivan Fernandez Meza

Codirectores

Dra. María Luisa Rodríguez Martínez  
Dr. Fernando Aguilar Montiel

Tlaxcala, Tlax.

Enero, 2024





**Universidad Autónoma de Tlaxcala**

---

**Posgrado en Ciencias Biológicas**

Factores asociados a la infección de sifonápteros  
en roedores de una región templada del centro de  
México

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

P r e s e n t a

Jorge Ivan Fernandez Meza

Comité Tutorial

Dra. María Luisa Rodríguez Martínez

Dr. Fernando Aguilar Montiel

Dra. Roxana Acosta Gutiérrez

Dr. Amando Bautista Ortega

Tlaxcala, Tlax.

Febrero, 2024



**CENTRO TLAXCALA DE BIOLOGÍA DE LA CONDUCTA**  
Coordinación de la División de Ciencias Biológicas  
Secretaría de Investigación Científica y Posgrado

**COMITÉ ACADÉMICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Sirva este medio para describir el proceso de revisión de la tesis realizada por El estudiante **Jorge Ivan Fernandez Meza** titulada “**Factores asociados a la infección de sifonápteros en roedores de una región templada del centro de México**” para optar por su grado de **Maestra en Ciencias Biológicas**.

El documento de la tesis de Jorge Ivan fue revisado por mí como directora de tesis antes de presentarse en cada examen tutorial y, posteriormente a los exámenes tutorales, los miembros de su comité tutorial realizaron también sus respectivas observaciones. De manera que el documento, llevó un proceso de revisión por varios profesores expertos en el tema. En el mes de enero, el documento final de la tesis fue procesado con el programa del Turnitin marcando poco texto con similitudes (2%). Los textos detectados con similitud fueron corregidos por el estudiante. Se volvió a procesar el documento y marcó 1%. Cabe señalar que se excluyeron del reporte la Bibliografía, las citas textuales y las citas, para evitar que fueran consideradas como plagio.

Por lo anterior, confirmo que **el estudiante no incurrió en ninguna práctica no deseable** en la escritura de la tesis.

Sin más por el momento, reciban atentos saludos.

**CORDIALMENTE**

**Tlaxcala, Tlax., a 08 de enero de 2024**

**Dra. María Luisa Rodríguez Martínez**  
**Directora de tesis**

**Dr. Fernando Aguilar Montiel**  
**Codirector de tesis**



Sistema Institucional de Autogestión de la Calidad Certificado bajo la Norma:  
ISO 9001:2015-NMX-CC-9001-IMNC-2015

## **FINANCIAMIENTO**

Este trabajo fue realizado en los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl y los Cerros Blancos en el poniente del estado de Tlaxcala y en el Centro Tlaxcala Biología de la Conducta (CTBC), de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATx) Unidad Periférica Tlaxcala del Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Esta investigación fue financiada: por el Proyecto “Análisis de la conectividad funcional entre los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl (286794), así como del Cuerpo Académico Ecología y Conducta Animal en Ambientes Naturales y Antropizados CA UATLX-227.

Se contó con Beca CONACYT (1159752 JIFM).



**COORDINACIÓN MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA  
P R E S E N T E**

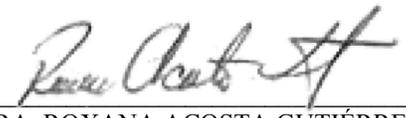
Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que **Jorge Ivan Fernandez Meza** realiza para la obtención del grado de **Maestro en Ciencias Biológicas**, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que ésta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevará es **“Factores asociados a la infección de sifonápteros en roedores de una región templada del centro de México”**.

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E  
TLAXCALA, TLAX., A 18 DE ENERO DEL 2024

  
DR. AMANDO BAUTISTA ORTEGA

  
DRA. MARÍA LUISA RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

  
DRA. ROXANA ACOSTA GUTIÉRREZ

  
DR. JORGE VÁZQUEZ PÉREZ

  
DR. EDUARDO FELIPE AGUILERA MILLER

## AGRADECIMIENTOS

Al posgrado del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Al Cuerpo Académico Ecología y Conducta Animal en Ambientes Naturales y Antropizados CA UATLX-227.

Al Proyecto “Interconectividad de Los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl (286794)” y al CONACYT por la beca otorgada para cursar estudios de posgrado 1159752.

A mis codirectores de tesis por todas sus enseñanzas transmitidas en todo el proceso:

Dra. María Luisa Rodríguez Martínez

Dr. Fernando Aguilar Montiel

A los miembros de mi Comité Tutorial:

Dra. Roxana Acosta Gutiérrez

Dr. Amando Bautista Ortega

Al Dr. Jesús Martínez Vázquez, profesor de Biología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), por su apoyo para la identificación de individuos de roedores silvestres.

A todos los amigos y compañeros que me apoyaron en las salidas de campo.

## **AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL**

A la Dra. María Luisa Rodríguez Martínez, por todos sus consejos y enseñanzas en cada momento durante el desarrollo de este proyecto, por sus comentarios para mejorar en mis habilidades en el ámbito escolar y personal, al igual darme esa confianza en saber que puedo lograrlo mis metas.

Al Dr. Fernando Aguilar Montiel por permitirme aprender todos sus conocimientos y apoyarme desde el inicio del proyecto, por tener esa disposición en platicar y hacerme llegar sus comentarios, consejos e ideas para mejorar el trabajo.

A mis padres que siempre me han apoyado y agradezco mucho por darme ese apoyo incondicional para llevar a cabo todas mis metas personales y académicas, siempre han estado a mi lado con sus consejos y me han orientado para seguir adelante en mis objetivos sin importar mis decisiones.

A mis amigos y compañeros de los silvestres, por esos consejos y comentarios que me ayudan a crecer gracias a su experiencia, Dr. Jorge Vázquez, Dr. Eduardo Aguilera-Miller, Kike, Hanz.

A mi novia (Lizbeth) que me ha ayudado en esta última etapa en seguir adelante y apoyarme en esos momentos donde me he sentido desesperado y abrumado para terminar y me ha brindado todo su apoyo.

## RESUMEN

Los roedores se caracterizan por ser reservorios de una diversidad de parásitos, las pulgas (Siphonaptera) entre ellos. La asociación ecológica entre ratones y pulgas es relevante porque ciertas especies de pulgas muestran preferencia por ciertas características del hospedero, como la identidad, la edad, el sexo y estado reproductivo. El sexo y el estado reproductivo del hospedero han sido una de las características con más controversia, pues se ha descrito mayor infección por pulgas en los machos, mientras que las hembras esto ocurre cuando se encuentran reproductivas. El objetivo de este trabajo fue determinar si el sexo, y/o el estado reproductivo de los hospederos influyen en la infección de sifonápteros (cuantificada como prevalencia y abundancia media) sobre las especies de roedores en una región templada del centro de México. El área de estudio se ubicó en la zona central-poniente del estado de Tlaxcala y colindancia con los Parques Nacionales La Malinche (PNLM) e Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNI-P). Se capturaron ratones con trampas Sherman cebadas con avena, durante dos noches consecutivas. A los ratones capturados se les registraron la identidad, estado reproductivo y medidas biométricas convencionales. Se colectaron las pulgas en tubos Eppendorf® con alcohol al 70% para su posterior identificación. Se emplearon modelos estadísticos (GLMM y pruebas Post Hoc) así como un índice de similitud (Sorensen-Dice). Se registraron 11 especies de roedores incluidas en cinco géneros. Se obtuvieron 342 pulgas a partir de 127 hospederos y se registraron 19 especies de pulgas pertenecientes a diez géneros. Los polígonos con mayor similitud de especies de roedores fueron Hueyotlipan y PNLM, y Panotla y Mitepec. Mientras que, para las especies de pulgas, los polígonos con mayor similitud fueron Nanacamilpa y PNI-P y Panotla y Hueyotlipan. Los géneros *Peromyscus* y *Plusaetis* mostraron la mayor riqueza de especies de roedores y pulgas respectivamente. Se registró por primera vez al ratón (*P. mexicanus*) y cuatro especies de pulgas para el estado de Tlaxcala. El PNLM presentó la mayor riqueza de ratones y sifonápteros. Se observó que los machos de los hospederos presentaron una tendencia a estar más infectados. La infección por pulgas dependió solo de la especie de hospedero.

# ÍNDICE

Página

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
2.1	Riqueza de ratones y pulgas en Tlaxcala .....	4
2.2	Infección por parásitos en pequeños mamíferos .....	5
2.2.1	Influencia de la identidad de la especie del hospedero .....	5
2.2.2	Influencia del Sexo .....	5
2.2.3	Influencia de la edad .....	6
2.2.4	Influencia del estado reproductivo .....	7
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>5.</b>	<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>PREDICCIONES</b> .....	<b>10</b>
<b>7.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
7.1	Objetivo general.....	11
7.2	Objetivos específicos .....	11
<b>8.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>12</b>
8.1	Sitio de estudio.....	12
8.1.1	Descripción de los polígonos .....	12
8.2	Muestreo .....	15
8.2.1	Captura y manejo de roedores .....	15
8.2.2	Registro de datos y colecta de muestras .....	16
<b>9.</b>	<b>ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>18</b>
9.1	Análisis de diversidad .....	18
9.2	Modelos estadísticos .....	18
<b>10.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>20</b>
10.1	Captura e identificación de roedores .....	20

10.2 Diversidad de ratones.....	22
10.4 Colecta e identificación de los sifonápteros .....	21
10.5 Riqueza de sifonápteros .....	24
10.6 Comparación de especies de pulgas por polígono .....	26
10.7 Parámetros de infección de sifonápteros en relación con la especie, sexo y estado reproductivo del hospedero.....	28
10.8 Parámetros de infección por sifonápteros en los hospederos por sexo .....	30
<b>11. DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
11.1 Captura e identificación de ratones.....	32
11.2 Diversidad de ratones.....	33
11.3 Similitud de sitios .....	34
11.4 Colecta e identificación de sifonápteros .....	35
11.5 Similitud de sitios (Sifonápteros) .....	38
11.6 Parámetros de infección de Sifonápteros .....	39
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>13. PERSPECTIVAS.....</b>	<b>42</b>
<b>14. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>44</b>
<b>15. ANEXOS .....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Faja Volcánica Transmexicana (FVT) es un centro de endemismos y diversificación para distintos taxones. Es una región en el centro del país donde convergen dos regiones biogeográficas (Neártica y Neotropical). Esta convergencia la hace una zona con una alta heterogeneidad ambiental lo que sustenta un gran número de endemismos y diversidad de taxones. En esta área habitan alrededor de 198 especies de mamíferos, siendo los roedores uno de los grupos más diversos (Escalante y cols. 2004; Ceballos y Oliva 2005).

El orden Rodentia presenta una gran variedad de formas y tamaños, la característica más notoria de este grupo es su par de incisivos, que les ayudan a roer, excavar túneles y defenderse (Wolff y Sherman 2007). Los roedores son el grupo mejor representado dentro de los mamíferos en México con 254 especies, 50 géneros y 112 especies endémicas de las que se han descrito un gran número en los bosques templados de la FVT (Sánchez-Cordero y cols. 2014).

Los mamíferos de la FVT albergan más del 60% de las especies de pulgas descritas para el país (alrededor de 90 especies) (Acosta y Fernández 2007). Los sifonápteros son un grupo especializado de insectos, con un cuerpo aplanado de forma lateral, ojos simples (si los presentan), sin alas y con un aparato bucal adaptado para perforar y succionar (Acosta-Gutiérrez 2014). Estos ectoparásitos infectan principalmente a mamíferos y aves. La mayor parte de las especies de pulgas (74%) han sido descritas en el orden Rodentia a nivel global (Krasnov 2008; Whiting y cols. 2008; Acosta-Gutiérrez 2014).

Las pulgas influyen en la adecuación de individuos y en la composición de comunidades de hospederos al transmitirles enfermedades, ya que algunas especies de hospederos son más susceptibles que otras (Krasnov y Matthee 2010; Telfer y cols. 2005). De igual manera, las pulgas moldean la estructura de las comunidades ecológicas, ya que tienen la capacidad de regular las poblaciones de hospederos más susceptibles a algunas enfermedades (Christe y cols. 2006). Por ejemplo, las poblaciones de ratones *Clethrionomys glareolus* no parecen ser afectadas por la infección de *Bartonella taylorii*, transmitida por pulgas. En cambio, las poblaciones de *Apodemus sylvaticus* (susceptibles) disminuyen su densidad cuando están infectados por la misma especie de bacteria (Telfer y cols. 2005).

La infección por parásitos en mamíferos se ha visto asociada a diferentes factores como la identidad de la especie, el sexo, la edad, estado reproductivo o el sistema de apareamiento del hospedero (Kowalski y cols. 2015). Por ejemplo, se ha visto que en pequeñas especies de mamíferos (micromamíferos) como *Peromyscus maniculatus*, los factores como el sexo, tamaño corporal, la identidad de la especie del hospedero y el estado reproductivo influyen diferencialmente en la infección de pulgas, de acuerdo con la identidad de la especie de ectoparásito (Veitch y cols. 2020). También cabe destacar que la identidad de la especie de parásito puede ser un factor importante sobre la infección por parásitos en mamíferos (Linardi y Krasnov 2013; Kiffner y cols. 2013; Kowalski y cols. 2015; Veitch y cols. 2020; Fantozzi y cols. 2022; Shilereyo y cols. 2022). Así también, se ha observado que las condiciones microclimáticas como la temperatura y la humedad promueven una mayor infección por pulgas (Linardi y Krasnov 2013; Kowalski y cols. 2015; Hammond y cols. 2019; Pontifes y cols. 2021). Las condiciones microclimáticas del sitio donde los hospederos tienen sus nidos favorecen la supervivencia de la población de pulgas en las primeras etapas de desarrollo de las pulgas. Esto podría favorecer una mayor infección de pulgas en las hembras de los hospederos, debido a que invierten más tiempo con su descendencia (Girard y cols. 2002; Kowalski y cols. 2015; Fantozzi y cols. 2022).

Las comunidades de pulgas pueden variar con respecto a su riqueza o abundancia según las variables en su hábitat (Krasnov y cols. 2004). La abundancia de parásitos puede asociarse a factores ambientales o del hospedero. Por ejemplo, la abundancia de pulgas varía dependiendo del sitio, región y la temporada del año (Kiffner y cols. 2014). Con relación a la temporada se ha observado una mayor abundancia de sifonápteros en temporadas cálidas y húmedas (Obiegala y cols. 2021; Hamidi y Bueno-Marí 2021). Estas condiciones coinciden regularmente con la temporada reproductiva de los hospederos en diferentes regiones, particularmente en Europa y África (Kiffner y cols. 2013, 2014; Obiegala y cols. 2021). Esto puede variar de acuerdo con el tipo de ectoparásito y también con la biología de los hospederos (Kiffner y cols. 2013; Hamidi y Bueno-Marí 2021). Por ejemplo, el éxito de supervivencia de la pulga *Xenopsylla ramesis* en la etapa de huevo y larva fue mayor en condiciones de alta humedad (entre 55-92%) y en temperaturas que oscilaron entre 24° y 28°C. Mientras que los huevos de la pulga *X. conformis* fueron más resistentes a condiciones de baja humedad comparada con *X. ramesis* (Krasnov y

cols. 2001), lo que pudiera dar paso a una mayor infección sobre las especies o el sexo que pasen más tiempo en el nido.

El patrón de infección parasitario sesgado hacia los machos se ha presentado comúnmente en vertebrados como aves y mamíferos. Se ha descrito que, en mamíferos generalmente en las especies de talla grande y mediana y los machos activamente reproductivos presentan mayor infección (Krasnov y cols. 2008), aunque no ha sido una constante en otros estudios. Esto puede atribuirse a que los altos niveles de testosterona de los machos pueden comprometer el sistema inmune y permitir una mayor infección (Khokhlova y cols. 2004). En los roedores dicho patrón no se ha observado de forma contundente, esto debido a distintos factores que influyen de manera distinta e impiden ver un patrón claro en la infección de sifonápteros (abióticos: temporada, sitio, y bióticos: identidad del hospedero, fisiología del hospedero, sexo, estado reproductivo, talla del hospedero entre otros) (Matthee y cols. 2010; Linardi y Krasnov 2013; Kiffner y cols. 2013; Kowalski y cols. 2015; Veitch y cols. 2020; Fantozzi y cols. 2022; Shilereyo y cols. 2022; Ming y cols. 2023).

Los roedores constituyen un modelo de investigación idóneo para estudiar los factores del hospedero que influyen sobre la abundancia de pulgas. Una localidad con una riqueza alta de hospederos y sifonápteros provee suficiente sustrato para probar las relaciones entre hospederos y sifonápteros en regiones donde hay pocos estudios en torno al tema, como la Región Neártica (Krasnov y cols. 2004).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Riqueza de ratones y pulgas en Tlaxcala

Tlaxcala se encuentra inmersa en un área montañosa de México en cuyos hábitats convergen varias especies de roedores silvestres y sifonápteros con una alta riqueza (Acosta y Fernández 2005; Aguilar-Montiel y cols. 2019). El estado de Tlaxcala se encuentra ubicado en el centro-oriental de México, se sitúa en la Faja Volcánica Transmexicana, en colindancias con los estados de Hidalgo al norte, Puebla al este y con el Estado de México al sur. La altitud del estado va desde los 2,200 hasta los 4,420 m. El relieve está conformado por llanuras, zonas accidentadas (sierras de origen ígneo extrusivo o volcánico) y lomeríos. El clima es templado subhúmedo en la mayor parte del territorio del estado y se presentan lluvias en verano entre los meses de abril y mayo. La vegetación del estado de Tlaxcala presenta un 11.7 % de vegetación natural, teniendo asociaciones de bosques de sabino, encino y bosque de coníferas al igual que tiene asociaciones de matorral y pastizales en las planicies. En la mayor superficie del estado de Tlaxcala registra una fragmentación por la agricultura de temporada (Rodríguez-Martínez y cols. 2015).

En la región de Tlaxcala hay 71 especies de mamíferos, de los cuales 26 son micromamíferos. Veinte especies son ratones y una de rata (todas ellas pertenecientes a diez géneros y dos familias), así como cinco especies de musarañas de los géneros *Cryptotis* (una sola especie) y *Sorex* (Rodríguez-Martínez y cols. 2015).

Con respecto al estudio con pulgas en Tlaxcala, hay un inventario de 25 especies de pulgas de 16 géneros (Acosta y Fernández 2005; Acosta y Fernández 2015; Aguilar-Montiel y cols. 2019). Los trabajos que se han realizado para tener los registros de pulgas para el estado corresponden principalmente a la zona oriental en el municipio El Carmen Tequexquitla (Falcón-Ordaz y cols. 2012; Acosta y Fernández 2015), y en los municipios inmersos en el Parque Nacional La Malinche como lo son Huamantla e Ixtenco (Acosta y Fernández 2005; Vázquez 2005; Aguilar-Montiel y cols. 2019). Otros reportes se han registrado al norte del estado en el municipio de Tlaxco (Acosta y cols. 2008). En la zona Centro sur en los municipios de Ixtacuixtla de Mariano de Matamoros y Panotla (Acosta y cols. 2008). Y en la zona poniente en los municipios de Calpulalpan, Sanctórum de Lázaro Cárdenas, Españita y Hueyotlipan (Acosta y cols. 2008).

El estado de Tlaxcala muestra una gran importancia ecológica, pues es una región que presenta varios nodos de diversificación de roedores y sifonápteros, debido a estar en la FVT favoreciendo una mayor diversidad (Morrone y Gutiérrez 2005).

En la infección por parásitos, el ambiente es importante porque afecta indirectamente al parásito e influye directamente en el hospedero. Por ejemplo, respecto a la estacionalidad climática, en el trabajo de Ming y cols. (2023), observaron que en el campañol de Brandt (*Lasiopodomys brandtii*) la abundancia de pulgas fue mayor en primavera que en verano y otoño. También se observó que la abundancia disminuyó significativamente en verano. La temperatura y humedad media (referente a la región autónoma de Mongolia interior de China, en la ciudad de Xilinhot) influyó positivamente en la abundancia general de pulgas sobre *L. brandtii*. Otro ejemplo ocurre en roedores en distintos biomas donde el número de pulgas sobre *Dipodillus dasyurus* (roedor de Oriente Medio) se asoció con una menor abundancia de pulgas en la estación seca. También la abundancia de pulgas sobre *Mastomys natalensis* (roedor del este de África) fue mayor en la estación de secas (Kiffner y cols. 2013).

## **2.2 Infección por parásitos en pequeños mamíferos**

### **2.2.1 Influencia de la identidad de la especie del hospedero**

Ya que la abundancia parasitaria depende directamente de los hospederos, lo adecuado para describirla es el parámetro de infección: Prevalencia (P), abundancia media (MA) e intensidad media (MI) (Bush y cols. 1997). Fantozzi y cols. (2022) al asociar los parámetros de infección con los factores del hospedero como la taxonomía, condición corporal, edad y sexo, encontraron que el sexo y la identidad del hospedero (taxonomía) influyeron en la prevalencia e intensidad media. Además, encontraron que algunas especies de pulgas son específicas para ciertas especies de hospederos, aunque en la mayoría de los casos son generalistas. En el Parque Nacional La Malinche se encontró que los parámetros de infección por sifonápteros dependen de la identidad de la especie de hospedero (Aguilar-Montiel y cols. 2019).

### **2.2.2 Influencia del Sexo**

La mayoría de los trabajos se ha encontrado que los machos de algunas especies de roedores presentan una mayor infección por pulgas, tal es el caso de las especies *Reithrodontomys*,

*Tamias*, *Rattus*, *Thomomys*, *Scapteromys* y la familia Sigmodontinae (Krasnov y cols. 2005; Patterson y Dittmar 2008; Matthee y cols. 2010; Khokhlova y cols. 2011; Kiffner y cols. 2014; Fantozzi y cols. 2022; Ming y cols. 2023). Una probable explicación es que los machos mantienen ámbitos hogareños más amplios que las hembras, lo que provoca que los machos estén en contacto con otros machos ya sea de la misma u otras especies (Lareschi 2006; Krasnov y cols. 2011; Kiffner y cols. 2014; Kowalski y cols. 2015). Otra explicación es que los machos exploran más comparados a las hembras en su ámbito hogareño, por la búsqueda de una diversidad de recursos, presentando una distribución de las especies con mayor densidad (Fantozzi y cols. 2022). Por ejemplo, en la rata acuática *Scapteromys aquaticus* los machos presentaron mayor infección por una especie de ácaro (*Laelaps manguihosi*) y tres especies de pulgas (*Polygenis massoi*, *Polygenis bohlsi* y *Polygenis platensis*), esto debido al tamaño corporal del hospedero que favorece la infección, al igual que su riqueza de ectoparásitos (Lareschi 2006). Así también se ha reportado que, en machos de dos especies de ardillas, *Tamias alpinus* y *Tamias speciosus*, tienen una mayor abundancia de pulgas (Morand y cols. 2004; Lareschi 2006).

### **2.2.3 Influencia de la edad**

En algunas especies de hospederos se ha reportado que los adultos presentan mayor infección por parásitos, una explicación es que conforme los individuos crecen el sistema inmune se ve más comprometido, por el estrés ambiental que sufren los individuos (Yin y cols. 2020; Hayward y cols. 2009). Por ejemplo, en la rata asiática (*Rattus tenezumii*) se encontró que la abundancia de pulgas está asociada con los individuos adultos, dado que, presentan mayor movilidad y una defensa inmunológica baja (Yin y cols. 2020). Así también, en el género *Microtus* se encontró un patrón en donde hubo un aumento en la agregación, al igual que, en la prevalencia de pulgas en individuos adultos, relacionando patrones de infección con la edad del hospedero y asociándolo a hospederos más grandes tomando en cuenta el tamaño corporal (Krasnov y cols. 2006). La relación que tiene la edad del hospedero y la infección tienden a ser confuso debido a la interacción de diferentes mecanismos, por ejemplo, en un trabajo con el ratón norteamericano (*Peromyscus maniculatus*) se encontró que los adultos y subadultos presentaron una mayor

infección por parásitos, con niveles altos de corticosterona, lo que provoca la inmunocompetencia de los hospederos (Veitch y cols. 2021).

#### **2.2.4 Influencia del estado reproductivo**

Se ha observado que un factor asociado a la infección por parásitos es la temporada reproductiva, debido a que el sistema de apareamiento puede influir en la infección parasitaria. Esto es porque los machos de especies poligínicas incrementan los encuentros agonísticos lo que facilita una mayor transmisión de ectoparásitos entre ellos (Zuk y McKean 1996; Morand y cols. 2004; Badilla y cols. 2005). En estas especies poligínicas la competencia intra-sexual favorece una mayor infección por ectoparásitos al estar más en contacto entre machos (Krasnov y cols. 2005, 2011; Kowalski y cols. 2015). Por otro lado, se ha reportado que las hembras pueden presentar una infección parasitaria mayor que los machos. Sobre todo, en hembras reproductivas que facilita una transmisión vertical de ectoparásitos entre hembras lactantes y su descendencia, ya que son ellas las que invierten tiempo en el cuidado de las crías a diferencia de los machos (Yamamura 1993; Ebert y Herre 1996; Kowalski y cols. 2015).

De acuerdo con el ciclo de vida de las pulgas, la etapa de larva sucede fuera del hospedero, tiempo en el cual las larvas pueden encontrarse dentro de los nidos del hospedero y después continuar su ciclo de vida y una vez que sean adultas infectar a hembras gestantes o lactantes mayormente (Gorrell y Schulte-Hostedde 2008; Hammond y cols. 2019). Por ejemplo, las hembras de la ardilla gris (*Sciurus carolinensis*), invierten más tiempo en el cuidado de las crías lo cual estaría promoviendo una mayor infección debido al tiempo presente en sus madrigueras (Scantlebury y cols. 2010). Así también, en hembras gestantes del conejo montés (*Sylvilagus cunicularius*) se encontró un mayor número de pulgas, en específico de la especie *Cediopsylla inaequalis interrupta*, dado que, las hembras gestantes, aunado al estado reproductivo las hembras del conejo montés son de mayor tamaño corporal en comparación con los machos (Vázquez 2005). Dado que un hospedero de mayor tamaño corporal representa un mayor hábitat, por lo que el parásito tiene mayor área para obtener recurso (Kowalski y cols. 2015). En hembras reproductivas (gestantes y lactantes) del conejo europeo también se reporta una mayor infección parasitaria (mayor intensidad media y niveles de prevalencia altos), la cual está asociada también con las hormonas sexuales, progesterona y el estradiol (Molina y cols.

1999; Klein 2004). También se sabe que los andrógenos (testosterona), los estrógenos, la progesterona y los glucocorticoides (corticosterona) están relacionadas directamente con efectos inmunosupresores, lo que provoca en las hembras contribuyendo a una mayor infección, a causa de los altos niveles que pueden presentar en su reproducción (Klein 2004; Zuk y Mckean 1996).

Aunque se ha descrito que los machos suelen tener mayor infección de pulgas que las hembras; aún no se aclara esta tendencia derivada del sexo, teniendo que en hembras de roedores el estado reproductivo influye en los parámetros de infección. De manera que, de encontrar este efecto, sería de utilidad conocer si hubiera un patrón general de infección en las especies o en qué especies de hospederos podría ocurrir.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Los roedores al ser un grupo taxonómico diverso y ser hospederos de una gran diversidad de parásitos los hacen de gran interés para estudios ecológicos y conductuales. Las características ambientales del estado de Tlaxcala contribuyen a la riqueza y abundancia de roedores silvestres, lo que facilita estudiar cómo es que algunas características de los hospederos como la edad, el sexo o la condición reproductiva influyen sobre la infección por parásitos. Aún existe controversia sobre si existe un patrón general en la infección parasitaria. Esto es, si alguno de los sexos, edades (juveniles, adultos) o condiciones reproductivas (activamente reproductivos o no, [hembras gestantes, lactantes]) se encuentren más infectados por regla general. Esto podría deberse a que falten registros de casos o porque aún falta por explorar los sitios donde se distribuyen los roedores. Por lo que este trabajo pretende aportar información relevante acerca de la infección por sifonápteros en una región templada del centro de México.

#### **4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Qué factores del hospedero, como el sexo y la condición reproductiva, influyen en los parámetros de infección de sifonápteros en la comunidad de roedores en una región templada?

#### **5. HIPÓTESIS**

La identidad de la especie, el sexo o el estado reproductivo de los hospederos van a influir sobre los parámetros de infección de sifonápteros en cada especie de roedor hospedero.

La infección por sifonápteros está asociada al sexo y el estado reproductivo de los hospederos en una comunidad de roedores de una región templada.

#### **6. PREDICCIONES**

1. Los machos presentan parámetros de infección más altos que las hembras.
2. Las hembras reproductivas (gestantes o lactantes) presentan parámetros de infección más altos que las hembras no reproductivas.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 Objetivo general**

Determinar si los factores del hospedero como el sexo, y el estado reproductivo están asociados a la infección de sifonápteros en una comunidad de roedores en una región templada del centro de México.

### **7.2 Objetivos específicos**

1. Identificar las especies de roedores presentes en los sitios de estudio.
2. Identificar las especies de pulgas presentes en cada especie de hospedero.
3. Comparar la riqueza de ratones y pulgas entre los sitios de muestreo.
4. Comparar los parámetros de infección (prevalencia y abundancia media) de pulgas por especie, sexo y condición reproductiva de los hospederos.

## **8. METODOLOGÍA**

### **8.1 Sitio de estudio**

El área de estudio se ubicó en el centro del país, en la región centro-poniente del estado de Tlaxcala (que comprende la zona de lomeríos del estado) y la región de los Parques Nacionales Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNI-P) y la Malinche (PNLM). Las características de la vegetación en la región de los lomeríos son reminiscencias de bosque de encino, bosque de juníperos, matorral xerófilo y en su mayoría son áreas de uso agrícola de temporal (<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM29tlaxcala/mediofisico.html>). En la región de los parques nacionales, las características son típicas del bosque templado con especies de pino, encino, oyamel y pastizal de alta montaña (Ruíz-Soberanes y Gómez-Álvarez 2010).

En el área de estudio se seleccionaron seis polígonos: 1) localidad de San Francisco Tetlanohcan correspondiente a PNLM, 2) Panotla, 3) Hueyotlipan, 4) San Francisco Mitepec, estos tres últimos pertenecientes a la zona de lomeríos de Tlaxcala, 5) Nanacamilpa de Mariano Arista y 6) San Rafael Ixtapalucan, correspondiente al PNI-P (Figura 1).

#### **8.1.1 Descripción de los polígonos**

*Polígono 1:* San Francisco Tetlanohcan, ubicado al oriente del estado de Tlaxcala en el PNLM, al norte con Santa Ana Chiautempan y al sur con Teolocholco (Figura 1). El clima es semifrío, subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje alto de humedad. Los sitios de muestreo estuvieron en un rango altitudinal entre los 2,600 y los 3,000 msnm. Presenta cuatro tipos de suelos: cambisoles, fluviales, regosoles y andosoles. La vegetación predominantemente es bosque de encino en la parte baja con asociación con pinos y madroños, en las partes altas predomina el bosque de pino en convivencia con encinos y oyamel (INEGI 2010).

*Polígono 2:* Panotla, ubicada en el centro-sur del estado de Tlaxcala, colinda al norte con los municipios de Hueyotlipan y Xaltocan, al poniente con el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros y al oriente con los municipios de Totolac y Tlaxcala capital (Figura 1). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. Los sitios de muestreo estuvieron en un rango altitudinal entre los 2,250 y los 2,600 msnm. La mayoría de su superficie presenta un relieve con zonas accidentales al norte. La localidad presenta fragmentación por actividades

antropogénicas, la vegetación que predomina son fragmentos de bosques de pino, encino con asociaciones de cedros, sabinos y tepozán (INEGI, 2010).

*Polígono 3:* Hueyotlipan, ubicado en la parte poniente del estado de Tlaxcala, colinda al norte con el municipio de Tlaxco al oriente con el municipio de Xaltocan, al sur con los municipios de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros y Panotla y al poniente con los municipios de Sanctórum de Lázaro Cárdenas y Españita (Figura 1). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje alto de humedad. Los sitios de muestreo estuvieron en los 2,600 msnm. La región presenta un relieve de meseta basáltica con cañadas y llanuras, con lomerío de piso rocoso, donde predominan los suelos phaeozem y leptosol en mayor porcentaje. Hueyotlipan, tiene una fragmentación en su mayoría por el efecto de la agricultura. La vegetación que predomina es de un bosque de junípero asociado a matorrales xerófito y bosque de encino fragmentado por el efecto de la agricultura (INEGI 2010).

*Polígono 4:* San Francisco Mitepec, ubicado en el municipio de Españita, colinda al suroeste el municipio de Tlaxcala, al norponiente con el municipio de Sanctórum de Lázaro Cárdenas, al oriente con el municipio de Hueyotlipan y al sur con el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros (Figura 1). El clima es templado frío con lluvias en verano con un porcentaje alto de humedad. Los sitios de muestreo se localizaron a los 2,700 msnm. En la región se presenta un relieve de meseta basáltica con cañadas, predominan los suelos de leptosol y durisol. La vegetación que predomina es bosque de pino-encino, fragmentado por el efecto agrícola (INEGI 2010; Castañeda-Díaz y cols. 2023).

*Polígono 5:* Nanacamilpa de Mariano de Arista, al poniente de Tlaxcala, junto al norponiente con Calpulalpan, al centro norte con Sanctórum de Lázaro Cárdenas y al sur con Puebla (Figura 1). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje alto de humedad. Los sitios de muestreo se localizaron a los 2,800 msnm. Los suelos que predominan son phaeozem y umbrisol. La vegetación tiene bosques de oyamel, pino y encino (Ramírez-Albores y cols. 2014).

*Polígono 6:* San Rafael Ixtapalucan, perteneciente al municipio de Tlahuapan, Puebla. Se localiza en el centro-oeste del estado de Puebla en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, el municipio colinda al este con el municipio de San Matías Tlalancaleca, Puebla y al norte con el municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala (Figura 1). El clima es templado subhúmedo la mayor parte del año, pero también, muestra un clima semi húmedo. Los sitios de muestreo se ubicaron a los 3,000 msnm. El relieve que presenta es de estrato volcánico en todo su territorio con un tipo de suelo donde predominan el andosol, cambisol y umbrisol. La vegetación en la zona se compone de bosques de pino, encino y oyamel (INEGI 2010).



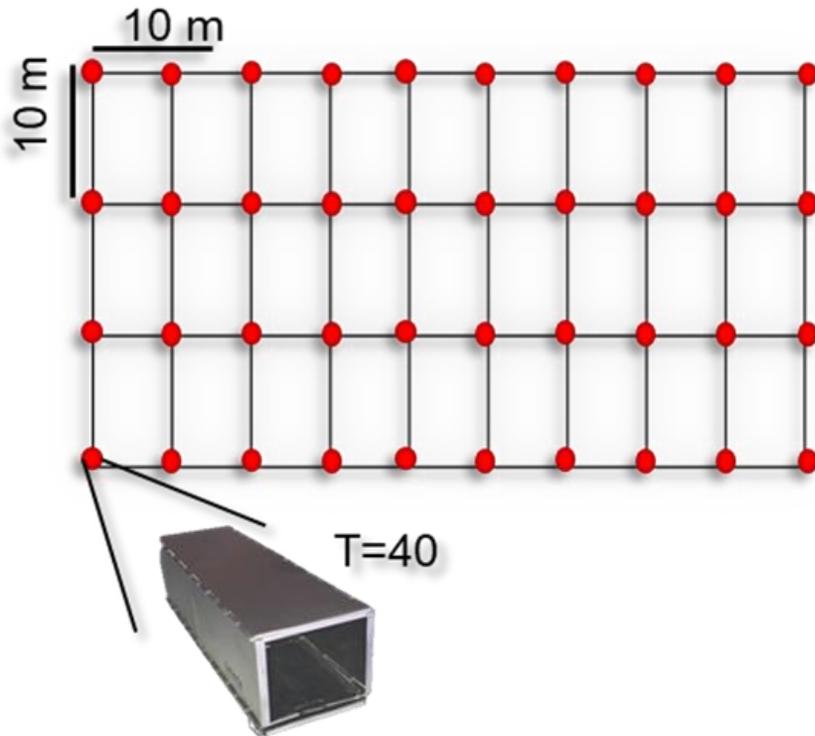
**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en la Faja Volcánica Transmexicana, los números indican los seis polígonos monitoreados. 1) San Francisco Tetlanohcan correspondiente a PNLN, 2) Panofta, 3) Hueyotlipan, 4) San Francisco Mitepec, 5) Nanacamilpa de Mariano Arista y 6) San Rafael Ixtapalucan correspondiente al PNI-P.

## **8.2 Muestreo**

Este trabajo formó parte del proyecto “Análisis de la conectividad funcional entre los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl” que estuvo a cargo de la Dra. Itzel Arias del Razo, financiado por la Secretaría de Relaciones Exteriores. Debido a que este trabajo coincidió con el periodo de la pandemia causado por el SARS COV 2 que provoca la enfermedad del Covid 19, todos los muestreos para capturar y manejar animales silvestres se vieron restringidos. Los muestreos se hicieron en tres periodos, el primero del 24 de noviembre al 21 de diciembre de 2019, el segundo del 23 julio al 14 de agosto de 2021 y el tercero del 12 al 30 de enero de 2022, manteniendo los protocolos de seguridad.

### **8.2.1 Captura y manejo de roedores**

En cada periodo de muestreo se invirtieron 360 noches de muestreo por sitio. En cada polígono se ubicaron dos sitios de muestreo para la captura de roedores y colecta de pulgas. En cada sitio se colocaron 80 trampas Sherman distribuidas en dos áreas (40 trampas cada área, 160 trampas total por polígono). Las trampas Sherman se distribuyeron en cuatro líneas con una separación de 10 m entre líneas y 10 m entre cada trampa (Figura 2). Las trampas Sherman se colocaron al atardecer (16:00 – 18:00 h) y permanecieron abiertas hasta la mañana siguiente que fueron revisadas (07:00 – 10:00 h). Las trampas Sherman fueron cebas con hojuelas de avena (*Avena sativa*). Cuando se revisaron las trampas y se encontraron ratones dentro, se registró datos y colectó muestras.



**Figura 2.** Método de captura para ratones, usando trampas Sherman.

### 8.2.2 Registro de datos y colecta de muestras

Cada ratón que fue capturado se colocó dentro de una bolsa de plástico transparente para su manipulación. El manejo de los ejemplares se siguió bajo los lineamientos establecidos por la American Society of Mammalogists (Sikes y cols. 2016). Cuando los individuos capturados estuvieron dentro de la bolsa de plástico se procedió a registrar el peso en gramos (g) con una báscula Pesola Lightline® de 100g/1g con precisión de 1 g. las medidas corporales estándar en milímetros (longitud corporal (LT), de la cola (CV), de la oreja derecha (O) y pata trasera derecha (PD), las cuales se tomaron con una regla de plástico de 30 cm con precisión de un milímetro. Así también se registró el sexo y el estado reproductivo de hembras y machos. En las hembras se registraron dos estados reproductivos, gestantes (HG) cuando se encontraron fetos, mediante la palpación del vientre y lactantes (HL) cuando se encontró leche en los pezones. En los machos se registró la posición de los testículos en el abdomen (MNR) o descendidos en el escroto (MR). Los datos registrados identificaron la especie de cada individuo capturado, la edad

y el estado reproductivo. Además, se emplearon guías de identificación (Hall 1981; Ceballos y Oliva 2005; Reid 2006) y se tuvo la ayuda del Dr. Jesús Martínez Vázquez, profesor de Biología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), para la identificación basada en la morfología del cráneo y medidas de la piel de los individuos. Así también, se registraron los datos de captura como el polígono, el sitio, la fecha y hora de captura.

Después de registrar los datos antes mencionados procedimos a la colecta de sifonápteros. Mientras se sujetó del dorso al ratón con una mano, con la otra mano se realizó un cepillado a contrapelo usando un cepillo de dientes durante un minuto y dando cuatro soplos intensos, todo esto en la entrada de la bolsa de plástico. Ambas técnicas se realizaron con especial cuidado en las regiones de la cabeza, cuello y grupa donde mayormente se localizan los sifonápteros (Aguilar-Montiel y cols. 2019; Veitch y cols. 2020). Se registró el número de parásitos por hospedero. Después de la colecta de datos procedimos a liberar los ratones en el sitio de su captura.

Las pulgas obtenidas se colocaron en tubos Eppendorf® con alcohol al 70% para su fijación y almacenamiento en el laboratorio del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta para su posterior identificación. Posteriormente las pulgas colectadas se procesaron siguiendo la técnica de Smit (1957).

#### **Técnica de Smit (1957):**

1. Primero, se incidió a las pulgas en el costado derecho en el abdomen del espécimen y se colocó en KOH o NaOH al 10% durante 24 a 48 horas, para aclarar y limpiar internamente.
2. Inmediatamente después se lavó con agua corriente durante 15 minutos.
3. Se deja en ácido acético glacial al 10% durante 10 minutos.
4. Se coloca en un vidrio o godete con alcohol isopropílico durante 5-10 minutos.
5. Se introduce en una solución 1:1 de alcohol isopropílico-esencia de clavo de 15-20 minutos.
6. Se coloca en esencia de clavo durante 10 a 15 minutos para dar maleabilidad a los escleritos y terminar de aclarar las estructuras.
7. Se realiza el montaje en un portaobjetos con una gota de bálsamo de Canadá.

8. Para finalizar, los portaobjetos se colocaron en un horno con una temperatura constante de 60° C, durante dos meses aproximadamente, para su secado.

La identificación de los sifonápteros se realizó con la ayuda de claves de identificación taxonómica (Traub 1950; Barrera 1954; Hopkins y Rothschild 1962; Tipton y Mendez 1968; Linardi y Guimaraes 2000; Morrone y cols. 2000; Acosta y Morrone 2003 y Acosta 2010) y con la ayuda de la Dra. Roxana Acosta, investigadora de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

## **9. ANÁLISIS DE DATOS**

### **9.1 Análisis de diversidad**

Para el análisis de diversidad se realizó un índice de Sorensen-Dice para conocer la similitud de cada polígono muestreado. Para este índice se tomó en cuenta la presencia y ausencia de las especies de ratones y pulgas, teniendo así un rango de 0 a 1, donde cero es ausencia de similitud y uno completa similitud. Este índice se realizó con el programa estadístico PAST (*PAleontological STadistic, versión 4.13*).

### **9.2 Modelos estadísticos**

La manera más convencional de cuantificar la infección por sifonápteros es a través de las medidas de abundancia parasitaria conocidas como parámetros de infección. Estas medidas son la prevalencia y abundancia media (Bush y cols. 1997) y se calculan de la siguiente manera:

**Prevalencia (proporción) (P)** = (Número de hospederos parasitados por al menos una especie determinada / número total de hospederos examinados) X 100

**Abundancia media (AM)** = Número de individuos de una determinada especie de pulga / número de hospederos examinados

Para la presente descripción del trabajo se consideraron solo los parámetros de infección de las especies de hospederos que tuvieron una representación mayor a 6 individuos capturados infectados.

Para el análisis estadístico se emplearon modelos lineales mixtos (GLMM) independientes por cada parámetro de infección. Las variables de respuesta fueron los parámetros de infección de sifonápteros (prevalencia y abundancia media), mientras que las variables predictivas fueron el sexo (macho y hembra), estado reproductivo (reproductivo y no reproductivo) y la especie de hospedero. Se fijó la temporada y la localidad de muestreo como variables aleatorias para controlar el efecto de la variabilidad ambiental. Se usó una distribución binomial para los modelos de prevalencia (infectado=1 y no infectado=0) con la función `glmer` del paquete `lme4` (Bates y cols. 2015). Para los modelos de abundancia media se ajustó una distribución binomial negativa con la función `glmer.nb` del paquete `MASS` (Venables 2002). Los análisis estadísticos se realizaron en el programa R versión 4.2.2 (R Core Team 2022).

## 10. RESULTADOS

### 10.1 Captura e identificación de roedores

Durante los tres muestreos que se realizaron se tuvo un esfuerzo de captura de 6,480 noches/trampa. El mayor número de ratones capturados fue durante el primer (noviembre a diciembre de 2019) y tercer muestreo (enero de 2022), ambos periodos correspondieron a la temporada de secas. En total se capturaron 329 individuos, los cuales se agruparon en dos familias (Heteromyidae y Cricetidae), cinco géneros (*Heteromys*, *Microtus*, *Neotomodon*, *Peromyscus* y *Reithrodontomys*) y 11 especies de roedores (Tabla 1). Cabe destacar que los géneros mejor representados fueron *Peromyscus* y *Reithrodontomys* con cinco y tres especies respectivamente (Tabla 1). Mientras que, las especies con mayor abundancia fueron *Peromyscus melanotis*, *Heteromys irroratus*, *Neotomodon alstoni*, *Reithrodontomys fulvescens* y *P. difficilis* (Tabla 1). De las 11 especies registradas, dos fueron endémicas (*N. alstoni* y *M. mexicanus*). Además, es importante resaltar que en este trabajo se registró la presencia de *P. mexicanus*, del que no se tenía registro para la zona de estudio.

**Tabla 1.** Ratones capturados durante los tres muestreos: 1) del 24 de noviembre al 21 de diciembre de 2019, 2) del 23 julio al 14 de agosto de 2021 y 3) del 12 al 30 de enero de 2022. \* = especies endémicas, \*\* = nuevo registro.

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Total</b>	<b>Machos</b>	<b>Hembras</b>	
Heteromyidae	<i>Heteromys</i>	<i>irroratus</i>	61	14	47	
		<i>Microtus</i>	12	6	6	
		<i>Neotomodon</i>	39	23	16	
			<i>fulvescens</i>	40	20	20
		<i>Reithrodontomys</i>	<i>chrysopsis</i> *	7	5	2
			<i>megalotis</i>	4	3	1
	Cricetidae		<i>difficilis</i>	53	26	27
			<i>maniculatus</i>	33	18	16
			<i>melanotis</i>	73	46	27
		<i>Peromyscus</i>	<i>leucopus</i>	2	0	2
		<i>mexicanus</i> **	1	0	1	
		sp.	3	1	2	
<b>Total</b>			329	162	167	

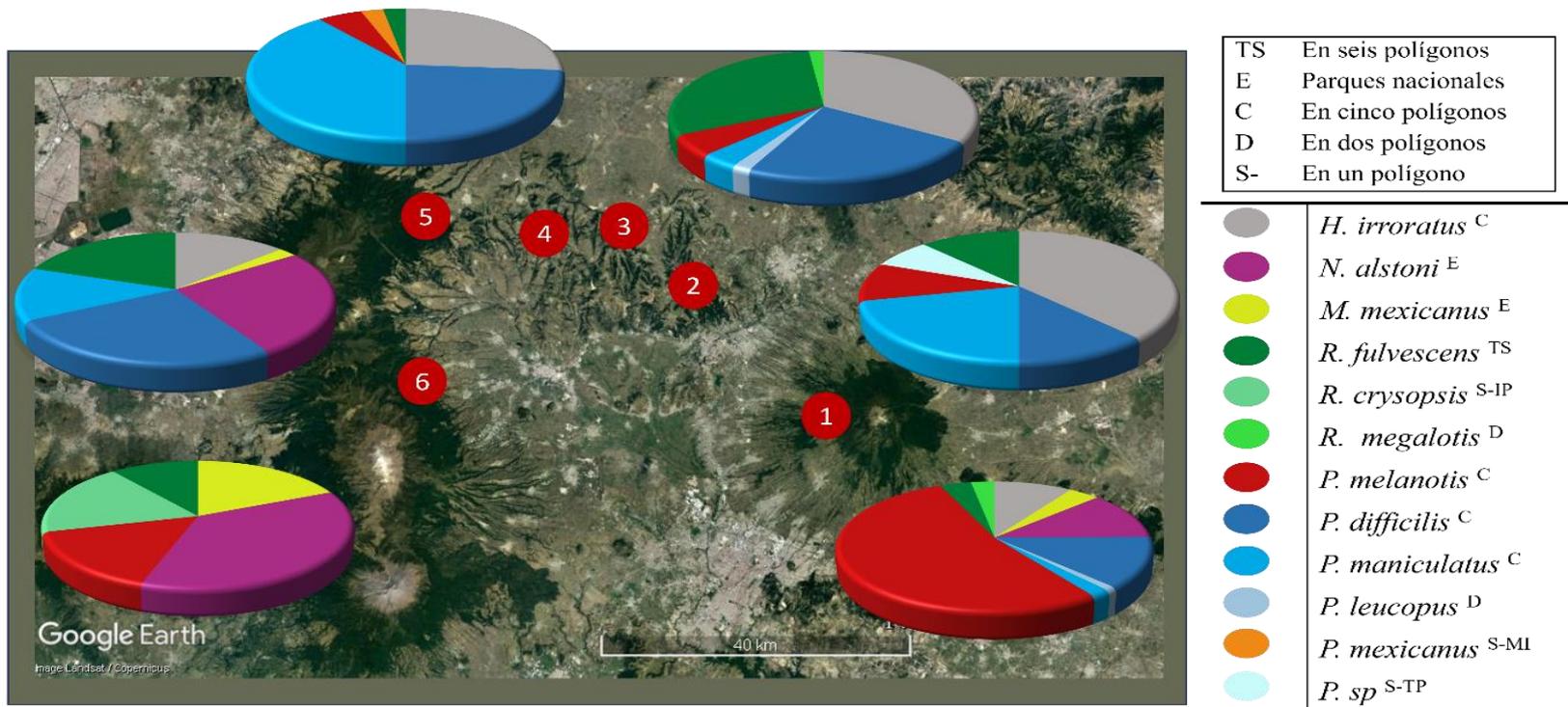
De los 329 individuos capturados 162 fueron machos y 167 hembras, de este total 34 machos fueron reproductivos (MR) y 127 estuvieron no reproductivos (MNR), para el caso de las hembras 16 estuvieron gestantes (HG), 19 estuvieron lactantes (HL) y 132 fueron hembras no reproductivas (HNR), por el número desigual fue imposible realizar análisis estadísticos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Ratones capturados y clasificados por especie, sexo y condición reproductiva.

Especie	Condición reproductiva				
	MR	MNR	HG	HL	HNR
<i>H. irroratus</i>	6	8	2	3	42
<i>M. mexicanus</i>	1	5	2	1	3
<i>N. alstoni</i>	6	17	3	1	12
<i>R. fulvescens</i>	1	19	3	6	11
<i>R. chrysopsis</i>	0	5	0	0	2
<i>R. megalotis</i>	1	2	0	0	1
<i>P. difficilis</i>	10	16	3	4	20
<i>P. maniculatus</i>	2	16	0	0	16
<i>P. melanotis</i>	7	38	3	2	22
<i>P. leucopus</i>	0	0	0	1	1
<i>P. mexicanus</i>	0	0	0	0	1
<i>P. sp.</i>	0	1	0	1	1
<b>Total</b>	34	127	16	19	132

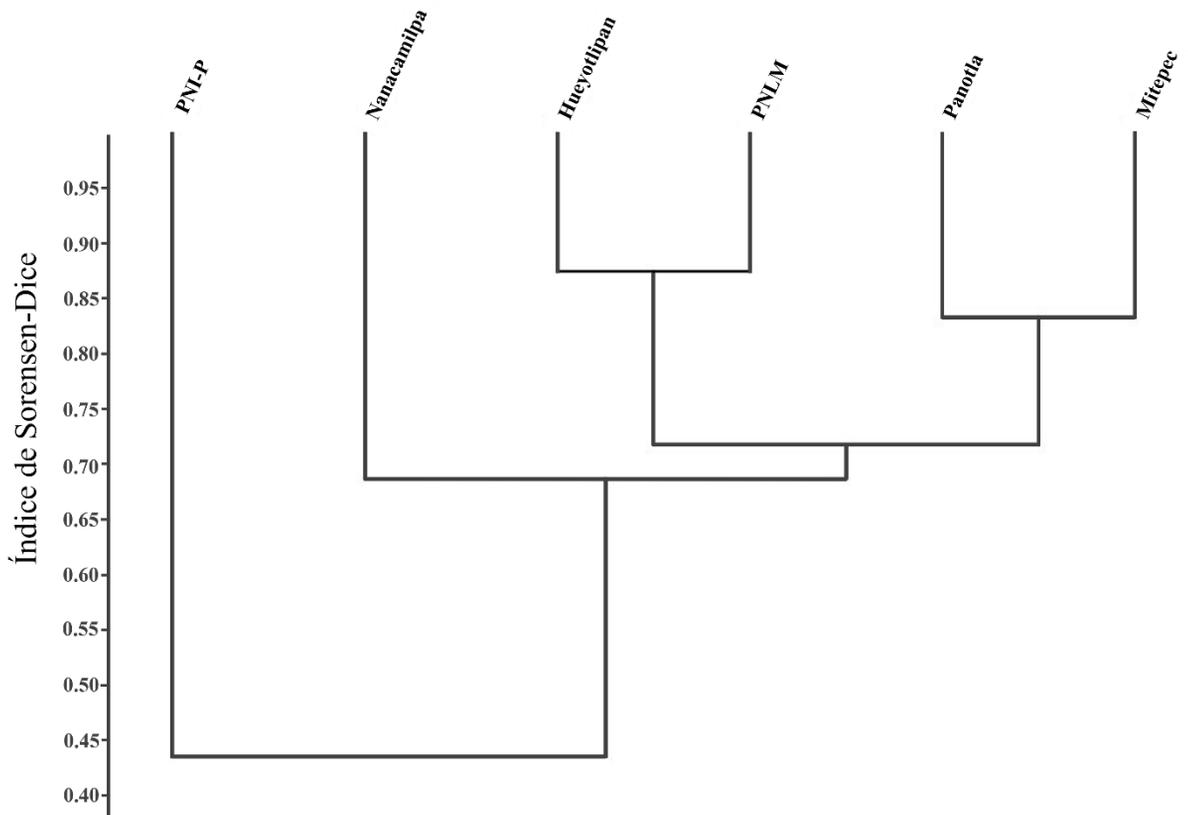
## 10.2 Diversidad de ratones

De los seis polígonos muestreados, el sitio que presentó el mayor número de especies fue el polígono 1 (PNLM) con nueve especies, seguido del polígono 3 (Hueyotlipan) con siete especies, seguido de los polígonos 2, 4, y 5 (Panotla, Mitepec y Nanacamilpa, respectivamente) con seis especies y el polígono 6 (PNI-P) con cinco especies (Figura 3). De las 11 especies registradas, *R. fulvescens* fue la única que se capturó en los seis polígonos, mientras que *H. irroratus*, *P. melanotis*, *P. difficilis*, *P. maniculatus* estuvieron en cinco polígonos, *R. megalotis* y *P. leucopus* se registraron en dos polígonos, mientras que *R. chrysopsis* y *P. mexicanus* se registraron en un polígono, el 6 (Izta-Popo) y el 4 (Mitepec). Cabe mencionar que *N. alstoni* y *M. mexicanus* estuvieron presentes exclusivamente en los polígonos 1 y 6 (PNI-P y PNLM) (Figura 3).



**Figura 3.** Especies de ratones registrados en cada polígono de muestreo: 1) Parque Nacional La Malinche, 2) Panotla, 3) Hueyotlipan, 4) Mitepec, 5) Nanacamilpa y 6) Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl). Las letras en el superíndice significan el número de polígonos en que las especies se presentaron: TS= en seis polígonos, C= en cinco polígonos, D= en dos polígonos, S= en un polígono y E= en los Parques Nacionales.

De acuerdo con el índice de similitud de Sorensen-Dice el polígono 6 (PNI-P) fue el que presentó una menor similitud con respecto al resto de los polígonos (con un índice de 0.44 de similitud), tomando en cuenta la presencia de las especies compartidas entre polígonos (Figura 4). El polígono 5 (Nanacamilpa), sin contar el polígono 6 (PN-IP), también presentó una menor similitud con respecto al resto de los otros polígonos (Figura 4). Los polígonos 3 y 1 (Hueyotlipan y el PNLM) presentaron una mayor similitud (con un índice de Sorensen-Dice mayor de 0.85 de similitud) y también entre los polígonos 2 (Panotla) y 4 (Mitepec) (con un índice 0.80 de similitud) (Figura 4).

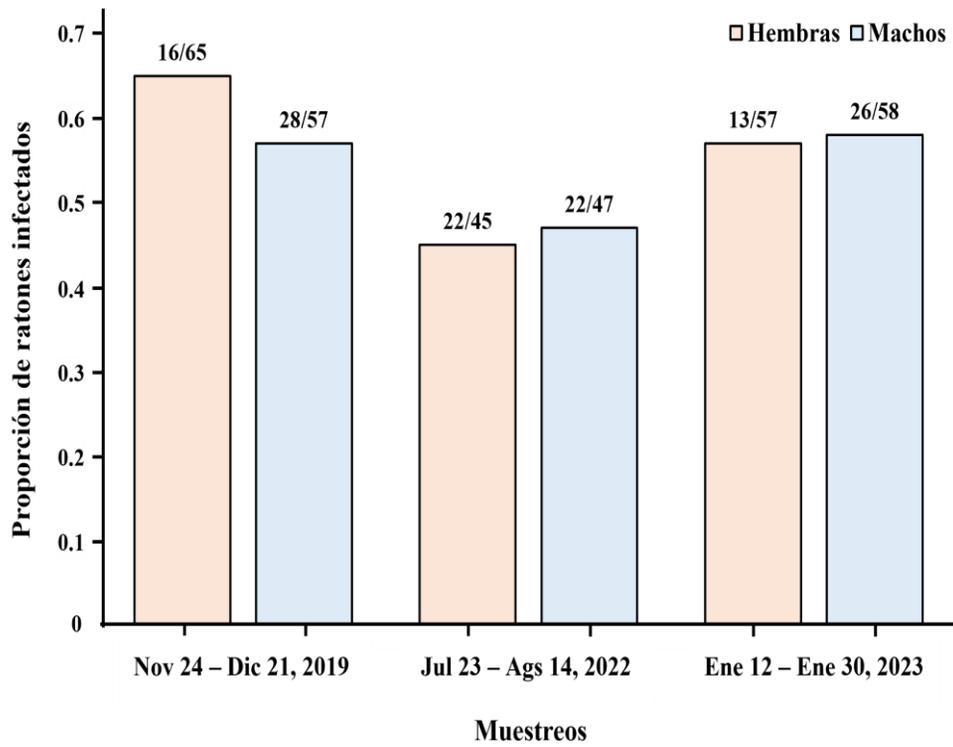


**Figura 4.** Dendrograma para el índice de similitud Sorensen-Dice que muestran el grado de similitud entre los polígonos, respecto a la presencia y ausencia de las especies de ratones.

#### 10.4 Colecta e identificación de los sifonápteros

De los 329 ratones capturados se encontró que solo 127 individuos hospedaron sifonápteros, con un total de 342 pulgas colectadas durante este estudio. La mayor cantidad de pulgas colectadas fueron en los muestreos 2 (julio a agosto, 2021) con 128 individuos y 3 (enero 2022) con 121 individuos. Del total de sifonápteros colectados, 190 se encontraron sobre 76 machos y 152 sobre 51 hembras. Según las capturas de los tres muestreos, en la temporada de lluvias, el muestreo 2, se registró en ambos sexos más hospederos infectados (figura 5).

Las pulgas se agruparon en cuatro familias (Ceratophyllidae, Ctenophthalmidae, Hystrichopsyllidae y Rhopalopsyllidae), 10 géneros (*Plusaetis*, *Pleochaetis*, *Jellisonia*, *Strepsylla*, *Ctenophthalmus*, *Rhadinopsylla*, *Corrodopsylla*, *Atyphloceras*, *Stenoponia* y *Polygenis*) y 19 especies (Tabla 3). El género *Plusaetis* fue el mejor representado con seis especies, seguido de los géneros *Jellisonia* (*Jellisonia*), *Pleochaetis* y *Strepsylla* con tres, dos y dos especies respectivamente (Tabla 3). Así también, las especies más abundantes fueron *Plusaetis sibynus*, *Plusaetis mathesoni*, *Plusaetis aztecus*, *Plusaetis parus*, *Plusaetis dolens*, *Plusaetis asetus* y *Jellisonia* (*Jellisonia*) *breviloba*, (Tabla 3). Se resaltan los registros de las especies *Plusaetis asetus*, *Polygenis martinezbaezi*, *Stenoponia ponera* y *Rhadinopsylla mexicana*, como nuevos registros para el PNLM.



**Figura 5.** Proporciones de ratones (hospederos) de hembras (color rosa) y machos (color azul) capturados durante los tres muestreos (2019 – 2022). Los números de la parte superior de cada barra indican el número de ratones infectados /número total de ratones capturados.

**Tabla 3.** Sifonápteros colectados durante los tres muestreos (2019 – 2022).

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Total</b>
		<i>sibynus</i>	57
		<i>mathesoni</i>	54
		<i>aztecus</i>	28
	<i>Plusaetis</i>	sp	27
		<i>dolens</i>	25
		<i>parus</i>	24
Ceratophyllidae		<i>asetus</i>	16
	<i>Pleochaetis</i>	<i>paramundus</i>	29
		<i>mundus</i>	6
		<i>breviloba</i>	14
	<i>Jellisonia</i>	<i>hayesi</i>	3
	( <i>Jellisonia</i> )	<i>klotsi</i>	1
		sp	1
		sp	34
	<i>Strepsylla</i>	<i>mina</i>	1
		<i>tezontli</i>	1
Ctenophthalmidae		<i>tecpin</i>	5
	<i>Ctenophthalmus</i>	sp	2
	<i>Rhadinopsylla</i>	<i>mexicana</i>	2
	<i>Corrodopsylla</i>	<i>curvata lira</i>	1
	<i>Atyphloceras</i>	<i>tancitari</i>	3
Hystrichopsyllidae	<i>Stenoponia</i>	<i>ponera</i>	2
Rhopalopsyllidae	<i>Polygenis</i>	<i>martinezbaezi</i>	6
<b>Total</b>			<b>342</b>

### 10.5 Riqueza de sifonápteros

Se colectaron 19 especies de sifonápteros. La especie más abundante fue *Plusaetis sybinus* que se encontró mayormente sobre *Peromyscus melanotis* (hospedero), luego *Pleochaetis paramundus* sobre *Neotomodon alstoni* y *Plusaetis mathesoni* sobre *P. melanotis* (Tabla 4). *Plusaetis aztecus* fue la especie de pulga que estuvo presente sobre un mayor número de hospederos (siete): *H. irroratus*, *M. mexicanus*, *N. alstoni*, *R. fulvescens*, *P. difficilis*, *P. maniculatus*, *P. melanotis* y *P. leucopus*, seguida de dos especies de pulgas que estuvieron sobre seis especies de hospederos: *Plusaetis parus* sobre *H. irroratus*, *R. fulvescens*, *P. difficilis*, *P. maniculatus*, *P. melanotis*, *P. leucopus*. Y la pulga *P. mathesoni* sobre *N. alstoni*, *R. fulvescens*, *R. chrysopsis*, *P. difficilis*, *P. maniculatus*, *P. melanotis*. *Plusaetis sibynus* estuvo presente en cinco especies de hospederos: *N. alstoni*, *R. fulvescens*, *P. difficilis*, *P. maniculatus* y *P. melanotis* (Tabla 4). *Peromyscus melanotis* presentó mayor abundancia con 150 ejemplares y 11 especies de pulgas (Tabla 4), seguida de *N. alstoni* con 53 individuos y ocho especies de pulgas y *P. difficilis* con 47 parásitos y 10 especies de pulgas (Tabla 4).

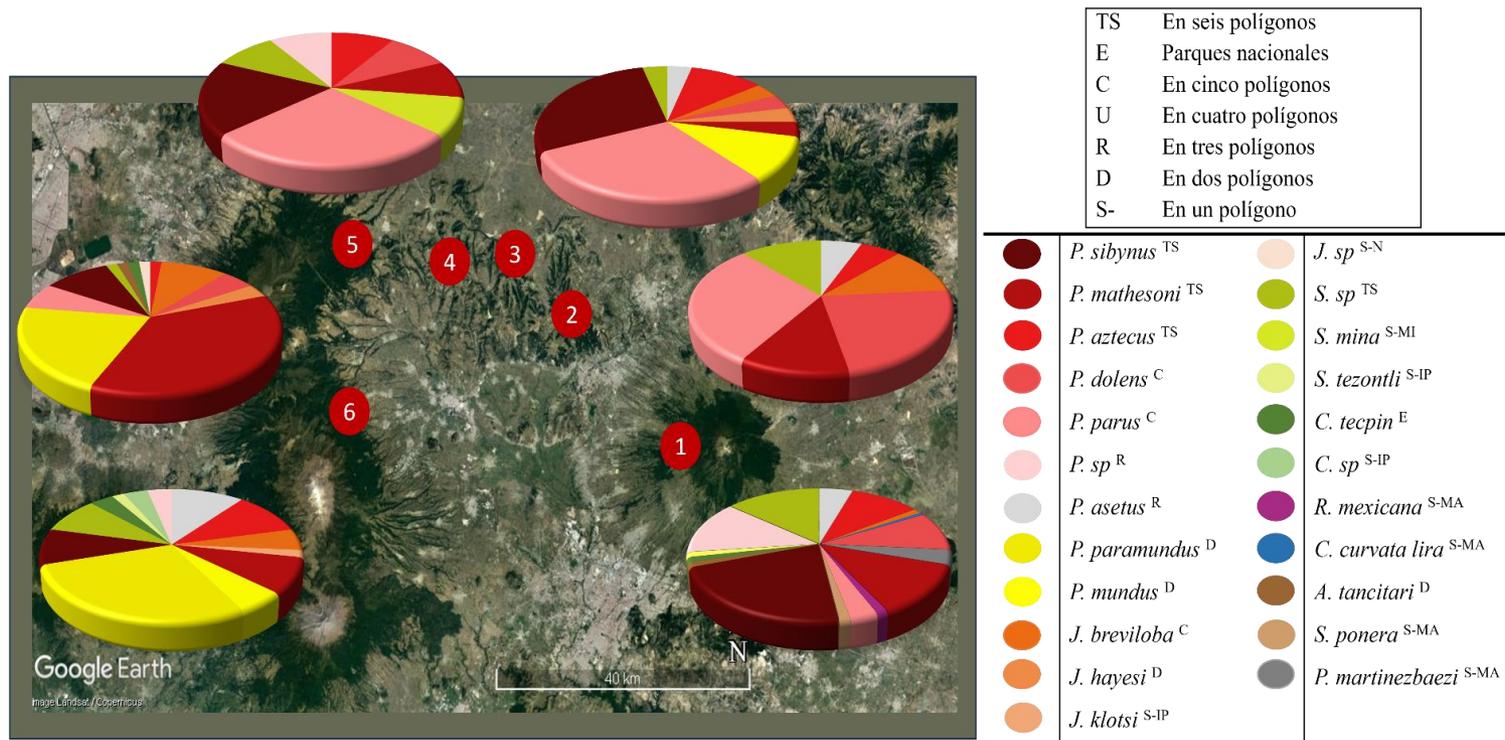
**Tabla 4.** Número total de pulgas registradas por especie de ratón (hospedero) durante los muestreos (2019-2022).

<i>Hospedero / Pulgas</i>	<i># de pulgas colectadas</i>	<i>Plusaetis sibynus</i>	<i>Plusaetis mathesoni</i>	<i>Plusaetis dolens</i>	<i>Plusaetis parvus</i>	<i>Plusaetis aztecus</i>	<i>Plusaetis asetus</i>	<i>Plusaetis sp*</i>	<i>Pleochaetis paramundus</i>	<i>Pleochaetis mundus</i>	<i>Jellisonia breviloba</i>	<i>Jellisonia hayesi</i>	<i>Jellisonia klotsi</i>	<i>Jellisonia sp*</i>	<i>Strepsylla mina</i>	<i>Strepsylla tezontli</i>	<i>Strepsylla sp*</i>	<i>Ctenophthalmus tecpin</i>	<i>Ctenophthalmus sp*</i>	<i>Rhadinopsylla mexicana</i>	<i>Corrodopsylla curvata lira</i>	<i>Atyphloceras tancitari</i>	<i>Stenoponia ponera</i>	<i>Polygenis martinezbaezi</i>
<i>H. irroratus</i>	9				2													1						6
<i>M. mexicanus</i>	13					2	5		1									2	2			1		
<i>N. alstoni</i>	53	3	8			5			28	2	1					1	5							
<i>R. fulvescens</i>	27	2	10		5	1	1			2	3			1				2						
<i>R. chrysopsis</i>	3		2										1											
<i>R. megalotis</i>	1						1																	
<i>P. difficilis</i>	47	5	6	11	7	3					9	2			1		2					1		
<i>P. maniculatus</i>	34	9	9	5	4	1		1		2							3							
<i>P. melanotis</i>	150	37	19	8	5	15	8	26			2						24			2	1	1	2	
<i>P. leucopus</i>	3			1	1	1																		
<i>P. mexicanus</i>	0																							
<i>P. sp</i>	2	1					1																	

## 10.6 Comparación de especies de pulgas por polígono

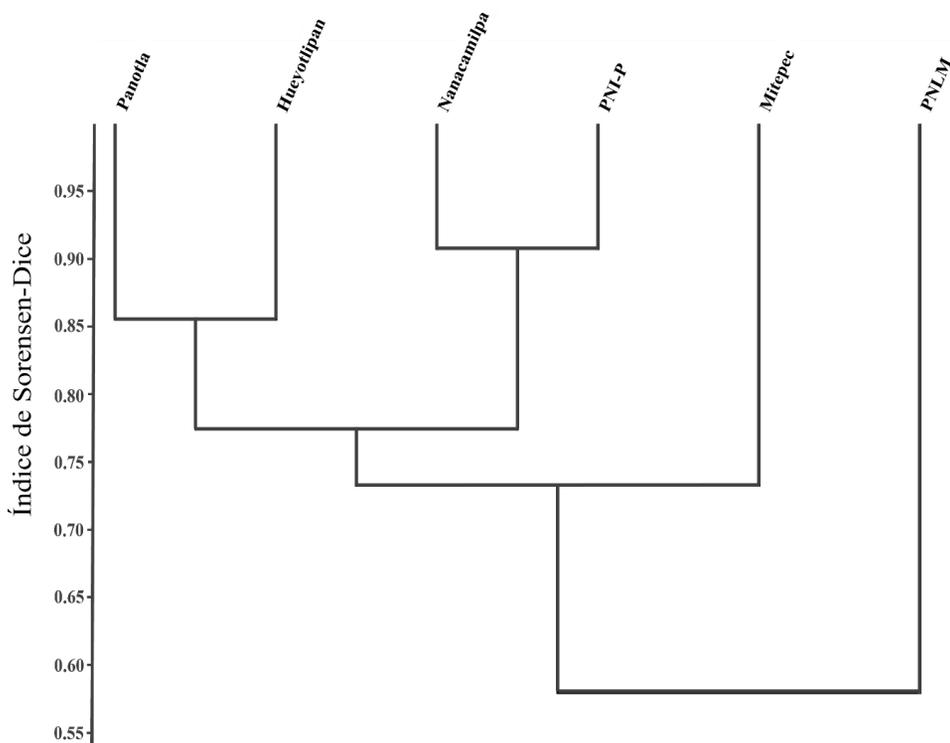
Los polígonos que presentaron una mayor riqueza de sifonápteros fueron el 1, 6 y 5 (PNLM, PNI-P y Nanacamilpa, respectivamente) con 15, 13 y 12 especies respectivamente, seguido de los polígonos 3, 2 y 4 (Hueyotlipan, Panotla y Mitepec, respectivamente) con 9, 8 y 8 especies, respectivamente (Figura 6). Cabe señalar que hubo individuos que solo fue posible identificar hasta nivel de género, como fue el caso de algunos ejemplares de *Plusaetis*, *Pleochaetis*, *Jellisonia*, *Strepsylla* y *Ctenophthalmus* (Figura 6).

Las pulgas que estuvieron presentes en todos los polígonos fueron *P. sibynus* y *P. mathesoni* y *P. aztecus*; en cinco polígonos se encontraron a *P. dolens*, *P. parus*, *J. breviloba*; en tres polígonos únicamente a *P. aetus* y en dos polígonos estuvieron *P. paramundus*, *P. mundus*, *J. hayesi* y *A. tancitari* (Figura 6). Así también, se encontró que en los polígonos 1 y 6 (PNLM y PNI-P) estuvo presente *C. tecpin* (Figura 6). También, hubo especies que se encontraron en un solo polígono como *R. mexicana*, *C. curvata lira*, *S. ponera*, *Polygenis martinezbaezi* en el 1 (PNLM), *J. klotsi* y *S. tezontli* en el 6 (PNI-P), y *S. mina* en el 4 (Mitepec) (Figura 6).



**Figura 6.** Especies de pulgas registradas en cada polígono de muestreo: 1) Parque Nacional La Malinche, 2) Panotla, 3) Hueyotlipan, 4) Mitepec, 5) Nanacamilpa y 6) Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl). Las letras en el superíndice indican el número de polígonos en que las especies se encontraron: TS=en seis polígonos C=en cinco polígonos, U=en cuatro polígonos, R=en tres polígonos, D=en dos polígonos, en un polígono y E=en los Parques Nacionales.

De acuerdo con el índice de similitud de Sorensen-Dice (S-D) el polígono 1 (PNLM) fue el que presentó una menor similitud (con un índice de 0.58 de similitud) con respecto al resto de los polígonos, tomando en cuenta la presencia de las especies compartidas entre polígonos (Figura 7). El polígono 4 (Mitepec) también presentó una baja similitud con respecto al resto (Figura 7). Los polígonos que presentaron una mayor similitud fueron el 2 y 3 (Panotla y Hueyotlipan) (con un índice de 0.86 de similitud) y 5 y 6 (Nanacamilpa y PNI- P) (con un índice de 0.92 de similitud) (Figura 7).



**Figura 7.** Dendrograma para el índice de similitud (Sorensen-Dice) que muestra el grado de similitud de acuerdo con las especies de pulgas encontradas entre los polígonos de acuerdo con la presencia/ausencia de las especies de ratones.

## 10.7 Parámetros de infección de sifonápteros en relación con la especie, sexo y estado reproductivo del hospedero

### 10.7.1 Prevalencia

La prevalencia general de este trabajo fue de 38.96 %. No hubo efecto de variables de sexo ni en el estado reproductivo. En contraste, la especie de hospedero sí influyó en la prevalencia de

sifonápteros ( $\chi^2=4.17$ ,  $df = 6$ ,  $P < 0.001$ ) (Figura 8). *Peromyscus melanotis*, *P. maniculatus*, *P. difficilis* y *N. alstoni* mostraron niveles más altos de prevalencia (56.2 %, 47 %, 46.3 %, 41 %, respectivamente). Las especies con menor prevalencia fueron *H. irroratus* y *M. mexicanus* (14.7% y 33.3%, respectivamente) (Figura 8). De acuerdo con las pruebas de comparaciones múltiples, se encontró que *P. melanotis*, *P. maniculatus*, *P. difficilis*, *M. mexicanus*, tuvieron niveles más altos de prevalencia que *H. irroratus* ( $P < 0.001$ ;  $P < 0.01$ ;  $P < 0.01$ ;  $P < 0.005$ , respectivamente). La prevalencia de pulgas de *P. melanotis* fue mayor que la de *R. fulvescens* y *N. alstoni* ( $P < 0.001$ ;  $P < 0.05$ ; respectivamente) (Figura 8).

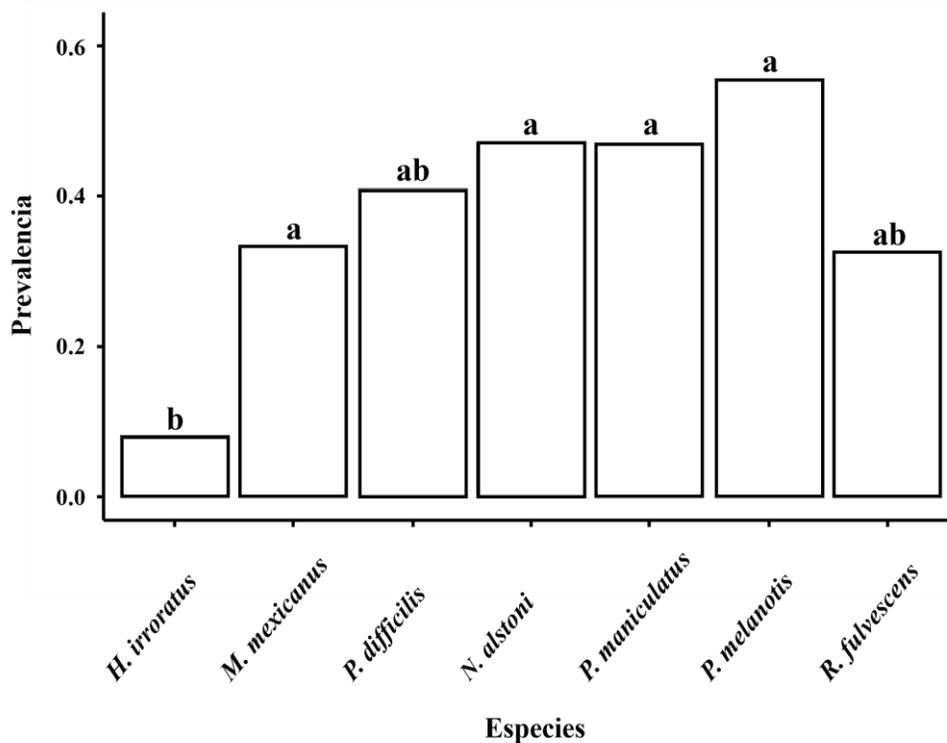
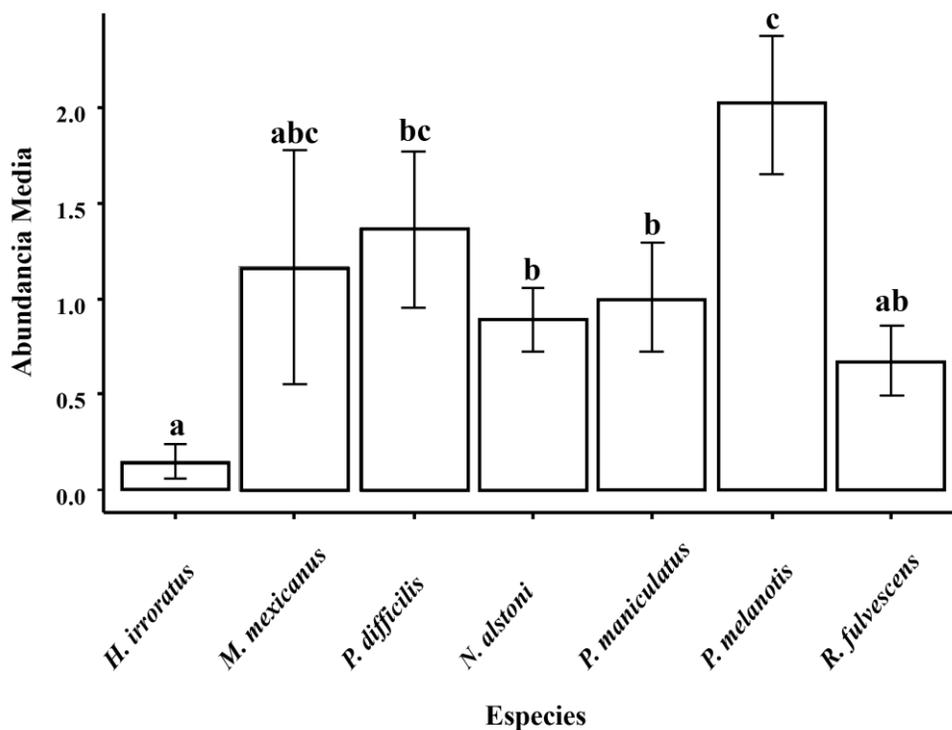


Figura 8. Prevalencia de sifonápteros de las especies de hospederos. Literales diferentes indican diferencias estadísticas de prevalencia de pulgas entre especies de hospederos.

### 10.7.2 Abundancia Media

La abundancia media (AM) general de pulgas por individuo para el trabajo fue 1.04. En cuanto a la AM también se encontró que la especie de hospedero influyó en este parámetro ( $\chi^2=36.14$ ,  $df = 6$ ,  $P < 0.001$ ). No hubo diferencias respecto al sexo y estado reproductivo. Las especies con

valores más altos de AM fueron: *P. melanotis*, *N. alstoni*, *P. maniculatus* y *P. difficilis*, (2.04, 1.36, 1 y 0.87, respectivamente) y con los valores más bajos fueron: *R. fulvescens*, *H. irroratus* y *M. mexicanus* (0.68, 1.17 y 0.15, respectivamente) (Figura 9). Las pruebas de comparaciones múltiples mostraron que *P. melanotis* tuvo mayor AM que *H. irroratus*, *P. difficilis*, *P. maniculatus*, *R. fulvescens* ( $P < 0.001$ ;  $P < 0.05$ ;  $P < 0.05$ ;  $P < 0.05$ , respectivamente). Mientras que *H. irroratus* tuvo menor AM que *N. alstoni*, *P. difficilis* y *P. maniculatus* ( $P < 0.001$ ;  $P < 0.001$ ;  $P < 0.001$ , respectivamente) (Figura 8).



**Figura 9.** Abundancia media (AM) de sifonápteros de las especies de hospederos. Literales diferentes indican diferencias estadísticas de AM de pulgas entre especies de hospederos.

### 10.8 Parámetros de infección por sifonápteros en los hospederos por sexo

A pesar de que no se encontraron diferencias en los análisis correspondientes entre hembras y machos en cada especie de hospedero, aquí se muestran de forma descriptiva algunas tendencias encontradas de acuerdo con la prevalencia y abundancia media en las especies con seis o más individuos infectados.

## **Machos**

Registramos 76 machos infectados con 190 sifonápteros. De este total observamos prevalencia alta en *P. melanotis*, *P. maniculatus*, *P. difficilis*, *N. alstoni* y *R. fulvescens* (58.8 %, 55.5 %, 50 %, 39% y 45 %, respectivamente), mientras que *H. irroratus* y *M. mexicanus* fueron las especies que presentaron menor porcentaje de prevalencia (42.8 % y 33.3 % respectivamente). En cuanto a la abundancia media las especies que presentaron valores altos fueron *P. melanotis* y *P. maniculatus* y *R. fulvescens*.

## **Hembras**

En las hembras registramos 51 individuos infectados con 152 sifonápteros. En cuanto a los parámetros de infección observamos en *P. melanotis*, *N. alstoni* y *P. difficilis* tuvieron valores altos de prevalencia (51.85 %, 43.75 % y 42.31 %, respectivamente), mientras que en *H. irroratus* y *R. fulvescens* se observaron los valores más bajos de prevalencia (6.38 % y 20 %, respectivamente). En la abundancia media las especies *P. melanotis* y *N. alstoni* presentaron valores altos de abundancia media (2.33 y 1.94), mientras que *H. irroratus*, *R. fulvescens* y *P. maniculatus* fueron las especies que presentaron los valores más bajos de abundancia media (0.06, 0.35, 0.63). En cuanto a las tres condiciones reproductivas registradas (HG, HL, HNR), se encontró que de las 16 HG solo 4 estuvieron infectados con 14 pulgas, de las 19 HL siete estuvieron infectados con 12 pulgas y de las 132 HNR 40 estuvieron infectados con 126 pulgas. Dado al número desigual en la captura de individuos en diferentes condiciones reproductivas fue imposible realizar las comparaciones estadísticas.

## 11. DISCUSIÓN

Este trabajo formó parte del proyecto “Análisis de la conectividad funcional entre los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl, e identificación de áreas prioritarias para la conservación”, coordinado por la Dra. Itzel Arias del Razo (CAR 286794). Debido a que este trabajo coincidió con el periodo de la pandemia por SARS-COV 2, solo fue posible realizar tres muestreos (del 24 de noviembre al 21 de diciembre de 2019, del 23 julio al 14 de agosto de 2021 y del 12 al 30 de enero de 2022). Estas salidas coincidieron con la temporada de secas (dos) y lluvias (una). Esto ocasionó que las capturas fueran desiguales en cuanto al número de individuos capturados por condición reproductiva y colecta de pulgas.

### 11.1 Captura e identificación de ratones

La riqueza de ratones (10 de las 11 especies) que se encontró en este trabajo concuerda con las especies ya registradas para el estado de Tlaxcala y del Parque Nacional Izta-Popo (Rodríguez-Martínez y cols. 2015; Ceballos y Oliva 2005). Registramos cinco de los 10 géneros descritos para el estado, mientras que reportamos 10 de las 21 especies de ratones encontradas en Tlaxcala (Rodríguez-Martínez y cols. 2015). El número de géneros y especies registradas en este proyecto pudo deberse a que solo se realizaron tres muestreos intensivamente, pero el esfuerzo de captura fue bajo. Además, durante los tres muestreos que se realizaron a la par se hicieron capturas en cinco sitios, con distancias considerables entre cada sitio territorio. Cabe mencionar que en las comunidades donde se realizaron las capturas ya se tenían registros de ciertas especies de ratones, donde Nanacamilpa y el PNLM mostraban la mayor riqueza (Rodríguez-Martínez y cols. 2015).

De las especies de ratones que se capturaron *Peromyscus melanotis* fue la especie más abundante en la mayoría de los polígonos. Este roedor suele estar presente en bosques de coníferas incluso en zonas de bordes donde la vegetación nativa es delimitada por terrenos de cultivo (Ceballos y Oliva 2005). Esta especie ha mostrado cierta tolerancia a la perturbación lo que favorece su abundancia en bosques de coníferas con cercanos a zonas de agricultura como es el caso del PNLM, donde presenta una alta abundancia (Aguilar-Montiel y cols. 2019). Otra especie que fue capturado cerca de cerca de sitios fragmentados por la agricultura fue *Heteromys irroratus* (Aguilar-Montiel y cols. 2019; Ceballos y Oliva 2005).

En este trabajo registramos dos especies endémicas, *Neotomodon alstoni* y *Microtus mexicanus*, de las 11 especies endémicas registradas para la Faja Volcánica Transversal, ambas especies fueron capturadas únicamente en los polígonos de los Parques Nacionales (Izta-Popo y Malinche) y Nanacamilpa, donde se distribuyen a partir de los 2,800 m.

Respecto a los pocos registros obtenidos de *P. leucopus*, se sabe que pudiera estar presente en ambientes áridos y templados, y se ha descrito como una especie de alta plasticidad ecológica. Además, este roedor se ha colectado en otros sitios de Tlaxcala que presentan un alto grado de perturbación (Fernandez-Meza, 2021; Rodríguez-Martínez y cols. 2015).

Entre los nuevos registros resaltamos la presencia de *Peromyscus mexicanus* en la comunidad de Españita. La identificación se hizo usando la morfometría del cráneo y las medidas estándar de los individuos capturados y con la ayuda del Dr. Jesús Martínez de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. El ratón de patas blancas *P. mexicanus* es una especie que presenta una amplia distribución desde México hasta Panamá, en un rango altitudinal de los 600 a los 3000 m. (Rojas y Barbosa 2007). Anterior a este registro es el que se hizo en el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Tlaxcala (Fuentes-Tejeda 2023). Cabe mencionar que el ratón de patas blancas no había sido registrado en el estado de Tlaxcala, los registros más recientes y cercanos a Tlaxcala han sido en la Sierra Norte del vecino estado de Puebla (CONABIO <https://enciclovida.mx/especies/34304>). Aunque se cuenta con la evidencia de su presencia en el estado de Tlaxcala, es necesario realizar su registro formal.

## **11.2 Diversidad de ratones**

En este trabajo se destaca al polígono 1 (PNLM) como el sitio que presentó el mayor número de especies de ratones en el estado de Tlaxcala. Esta riqueza de ratones se debe probablemente a la heterogeneidad ambiental y extensión del bosque de la Malinche (Morales-Díaz y cols. 2019; Smith y cols. 2021). Contrario a lo que se registró en los polígonos de los Cerros Blancos: Polígono 2 (Panotla), polígono 3 (Hueyotlipan), polígono 4 (Mitepec), que presentaron una menor riqueza de especies de ratones, debido quizás por el muestreo, la escasa disponibilidad de recursos, las actividades antropogénicas que reducen el hábitat de las especies nativas y que no se evaluaron en este estudio. (McKinney 2008). Los polígonos 5 (Nanacamilpa) y 6 (PNI-P)

pese a ser áreas boscosas y conservadas, se registraron pocas especies, quizás influenciada por el bajo número de muestreos realizados en los polígonos, sobre todo en el PNI-P.

### 11.3 Similitud de sitios

La similitud de los sitios en su mayoría fue alta, donde el polígono 6 (PNI-P) presentó la menor similitud comparado con el resto de los polígonos, debido a que se registraron especies que solo se compartieron con los polígonos inmersos en los Parques Nacionales, como *Reithrodontomys chrysopsis* (endémica de México y con distribución restringida a la FVT). Aunque hay registros para el PNLM y Nanacamilpa (Ramírez-Albores 2014, Fernández 2005), esta especie no se registró en otro polígono. El sitio donde se capturó *R. chrysopsis* en el PNI-P se encontró relativamente conservado, lo que coincide con lo descrito para esta especie que se halla en hábitats poco poblados por seres humanos y en bosques de pino-abeto, pino-encino los cuales se podrían encontrar en el PNI-P (Ceballos y Oliva 2005).

Las comparaciones por polígonos presentaron una mayor similitud en zonas fragmentadas a causa de la actividad antropizada, teniendo una baja riqueza de especies de ratones en los polígonos que estuvieron inmersos en la zona de los Cerros Blancos (McKinney 2008). Los polígonos 1 y 3 (PNLM y Hueyotlipan) presentaron la mayor similitud, pese a tener una vegetación distinta y estar ubicados en dos zonas alejadas el uno del otro (35 km aproximadamente). En estos dos polígonos se registraron más especies de ratones que en los otros sitios (nueve para el polígono 1 y siete para el polígono 3), seis de las siete especies registradas en el polígono 3 estuvieron en el polígono 1. Esto se puede deber a que Hueyotlipan tiene una extensión de áreas con vegetación nativa mayor que los demás polígonos de los Cerros Blancos (INEGI 2010). En estos últimos sitios los parches de vegetación natural son más pequeños, reduciendo los lugares donde las especies registradas pudieran sobrevivir. Las especies que se capturaron en Hueyotlipan habitan ambientes heterogéneos o fragmentados, como *Heteromys irroratus* que se colectó en áreas cercanas a cultivos (Fuentes-Tejeda 2023; Aguilar-Montiel y cols. 2019; Rodríguez-Martínez y cols. 2015).

El hecho de que *Peromyscus melanotis* y *P. leucopus* muestran una alta plasticidad ecológica con presencia en bordes de bosque explica su presencia en este polígono (Ceballos y Oliva 2005). Los polígonos 2 y 4 (Panotla y Mitepec) presentaron también una alta similitud

(Figura 4), aunque con una menor riqueza de especies debida muy probablemente a la fragmentación del hábitat y reducción constante de los parches de vegetación. En estos polígonos las capturas fueron bajas, solo se diferenciaron por la captura de *P. mexicanus* en el polígono 4. La vegetación en estos dos lugares es muy similar con parches de bosque de encino lo que pudo influir para que mostraran una similitud alta (INEGI, 2010; McKinney 2008).

#### **11.4 Colecta e identificación de sifonápteros**

Se encontraron 19 especies de sifonápteros (pulgas) pertenecientes a diez géneros sobre 11 especies de hospederos de ratones. Para México se tiene el registrado de 7 familias de sifonápteros, mientras que para el estado de Tlaxcala se han reportado 6 familias (Pulicidae, Ctenophthalmidae, Ceratophyllidae, Rhopalopsyllidae, Hystrichopsyllidae e Ischnopsyllidae) (Acosta y Fernández 2005; Acosta y cols. 2008). El incremento en los estudios sistemáticos en el estado de Tlaxcala con mamíferos y pulgas ha permitido que los listados de especies nativas incrementen (Vázquez 2005, Acosta y cols. 2008, Aguilar-Montiel y cols. 2019). Los registros de las familias y géneros de los sifonápteros presentes en este estudio coinciden con lo que se reporta en trabajos anteriores (Barrera 1968; Acosta y Fernández 2005; Vázquez 2005; Falcón-Ordaz y cols. 2012; Acosta-Gutiérrez 2014; Acosta y Fernández 2015; Aguilar-Montiel y cols. 2019), sin embargo cabe destacar que las familias que no se registraron en este trabajo fueron la familia Pulicidae, la cual fue reportada en el conejo silvestres *Sylvilagus cunicularius* en el Parque Nacional La Malinche (Vázquez 2005) y la familia Ischnopsyllidae la cual fue reportada en el murciélago *Myotis lucifuga* en Ixtacuixtla de Mariano Matamoros (Acosta y cols. 2008).

Las familias de pulgas más representativas de este trabajo fueron Ctenophthalmidae y Ceratophyllidae. Estos registros coinciden con la diversidad reportada para Tlaxcala (Acosta-Gutiérrez 2014). Se sabe que las especies de la familia Ceratophyllidae se encuentran más asociados a los hospederos de la familia Cricetidae, en particular en las especies de los géneros *Peromyscus*, *Neotomodon* y *Reithrodontomys* (Medvedev 1997; Gutiérrez-Velázquez y cols. 2006 y Aguilar-Montiel y cols. (2019). En este trabajo las especies *P. melanotis*, *N. alstoni*, *P. difficilis* y *P. maniculatus* presentaron una mayor infección por pulgas (Figura 9).

Cabe destacar tres nuevos registros de pulgas en el PNLM, dos especies (*Stenoponia ponera*, *Plusaetis asetus*) y una familia (Rhopalopsyllidae) con su representante *Rhadinopsylla*

*mexicana*. Estos registros contribuyen a incrementar la diversidad biológica de pulgas reportadas para el Parque (Acosta y Fernández 2005; Acosta y cols. 2008; Aguilar-Montiel y cols. 2019) y aumentarían los registros a 31 especies de sifonápteros para el Estado de Tlaxcala (Acosta-Gutiérrez 2014; Aguilar-Montiel y cols. 2019). Esto a pesar de que el periodo de muestreo fue de manera intensiva a comparación de Aguilar-Montiel y cols. (2019) donde el muestreo fue de casi dos años, lo que nos da una idea de que aún falta más estudios en distintas zonas incluso dentro del PNLN, pues los diferentes hábitats y la heterogeneidad que va tomando la montaña puede influir en la riqueza que se tiene estimada de sifonápteros.

Si bien para el estado se tenía registrada a la especie *Polygenis martinezbaezi* para los municipios de El Carmen Tequexquitla, Calpulalpan y Huamantla, no se tenía el registro para el polígono 1 en el PNLN. Se registró solo en individuos de *Heteromys irroratus*, que generalmente es la especie donde se tienen los reportes (Acosta y cols. 2008; Villalobos-Cuevas, 2016), posiblemente porque prefieren especies grandes de roedores como lo son del género *Oryzomys*, *Sigmodon*, *Neotoma* (Acosta y cols. 2008), cabe mencionar que este género de pulga tiene mayor afinidad con roedores con afinidad mesoamericana como son los *Peromyscus* (Gutiérrez-Velázquez y col. 2006) y también con especies del *Heteromys* como es el caso de *H. irroratus* que fue similar a lo que registramos compartiendo lo sucedido con el trabajo de Acosta y Fernández (2015) para la cuenca oriental..

*Stenoponia ponera* es nuevo registro para el PNLN y Tlaxcala, esta especie de pulga se ha mencionado que se ha encontrado sobre musarañas o en especies de roedores fosoriales, esto posiblemente porque se ha descrito que en el género *Stenoponia* el desarrollo de estadios inmaduros es más prolongado a otras especies de pulgas (Hastriter y cols. 2006), lo que pudiera hacer que infecten a especies que pasen más tiempo en sus cavidades. En general *S. ponera* se encuentra sobre especies de *Peromyscus* y se ha colectado en temporada de frío (Hastriter y cols. 2006; Acosta y cols. 2008). Esto coincide con la temporada de colecta para esta especie en este trabajo en el mes de diciembre.

*Rhadinopsylla mexicana* es una especie con pocos registros para todo el país, poco frecuente en listados de pulgas a lo largo del país (Tipton y Mendez 1968), pudiendo ser un registro importante para esta especie y contribuir a tener más información.

La riqueza de sifonápteros en este trabajo se podría considerar una de las más altas registradas, con respecto a otros reportes en el país (Tipton y Mendez 1968; Acosta-Gutiérrez 2014). Un trabajo reporta un número mayor de registros de pulgas en México: 49 especies (Tipton y Mendez 1968). El alto número de especies de sifonápteros coincide con los reportes propios para la zona de la FVT, que es una de las regiones con mayor diversidad de sifonápteros (Acosta y Fernández 2007). De igual manera, la FVT es una zona con mayores registros de especies de mamíferos (Escalante y cols. 2004) lo que muestra disponibilidad de hábitat para los sifonápteros, permitiendo tener una relación estrecha entre sifonápteros y roedores.

En los muestreos 2 y 3 hubo un mayor número de pulgas (127 y 121 respectivamente). El muestreo 2 coincidió con la época de lluvia y la mayoría de los ratones se encontraron activamente reproductivos. Como se sabe la condición reproductiva de individuos está regulada no solo por las condiciones ambientales, también por la secreción de hormonas sexuales, lo que a su vez provoca que los mecanismos de defensa se vean comprometidos y en respuesta los ratones sean más susceptible a la infección por pulgas (Kowalski y cols. 2015). Para el muestreo 3 coincidió con la época de secas, dada a esta situación pudiera que los hospederos al tener una menor disponibilidad de recursos, los individuos carecen de condiciones óptimas de salud, favoreciendo a que sean hospederos idóneos para que sean infectados, pues también se podría considerar que sus hospederos estén inmunocomprometidos por la falta de alimento y al estrés al estar recorriendo distancias largas y disputas inter e intraespecíficas por los recursos (Kowalski y cols. 2015; Matthee y cols. 2010). Pero tomando en cuenta que el muestreo 1 también se realizaron en época de secas y aun así, en el muestreo 3 hubo un mayor número de sifonápteros en comparación con el muestreo 1, pese a que, en ambos muestreos la abundancia de ratones fue casi similar e incluso teniendo un menor número de ratones en el muestreo 3 (122 ratones en el muestreo 1 y 115 ratones en el muestreo 3). Esto podría deberse a cambios en la metodología inicial de trampeo, ya que en el muestreo 3 se intensificó a lugares con mayor presencia de ratones, teniendo los datos de los dos primeros muestreos, esto para incrementar nuestra "N", la cual no fue suficiente al final.

Los hospederos machos tendieron a albergar un mayor número de sifonápteros, lo que concuerda con otros trabajos (Matthee y cols. 2010; Kiffner y cols. 2013; Kowalski y cols. 2015). Esto se podría atribuir a que los machos más infectados se encontraron en la temporada

de secas. En esta temporada los machos están en una constante búsqueda, con mayores distancias recorridas, para poder encontrar el suficiente recurso en la temporada donde escasea.

### **11.5 Similitud de sitios (Sifonápteros)**

Hay pocos registros de sifonápteros en algunas regiones del estado de Tlaxcala como el norte (Tlaxco), el oriente (El Carmen Tequexquitla), centro-sur (Tlaxcala e Ixtacuixtla de Mariano Matamoros) y la región poniente (Hueyotlipan, Calpulalpan) (Acosta y cols. 2008). Para el PNLM en los municipios de la periferia como Ixtenco y Huamantla, se tenían pocos registros, pero no para la comunidad del polígono 1 (San Francisco Tetlanohcan).

Los polígonos 5 y 6 (Nanacamilpa y PNI-P) fueron los que presentaron mayor similitud de pulgas. Esto se podría explicar porque la riqueza de pulgas de estos dos sitios estaría estrechamente relacionada con la de sus hospederos, ya que ambos sitios pertenecen al PNI-P. Los dos sitios comparten un ambiente similar con hospederos y condiciones ambientales similares. Así que las características del suelo, la humedad ambiental, temperatura, la vegetación y la cercanía de los sitios explicarían esta similitud (Linardi y Krasnov 2013; Ming y cols. 2023). En ambos sitios la mayoría de las pulgas pertenecen a especies de géneros comunes para la zona dentro de la FVT (*Jellisonia*, *Pleochaetis* y *Plusaetis*). Estos géneros presentaron el mayor número de especies como lo mencionan descripciones previas (Gutiérrez-Velázquez y cols. 2006; Acosta-Gutiérrez 2014; Aguilar-Montiel y cols. 2019). Los hospederos (*Peromyscus*, *Neotomodon* y *Reithrodontomys*) donde se colectaron estas taxa de pulgas coinciden con lo reportado para la zona, también para los polígonos 2 y 3 (Panotla y Hueyotlipan) pero con menor similitud debido a una baja riqueza compartida.

Los polígonos de los Cerros Blancos de Tlaxcala mostraron una baja riqueza de pulgas, esto probablemente por la degradación del hábitat y el recambio del uso del suelo para la agricultura que provoca que el suelo presente condiciones poco favorables para que se lleve a cabo procesos biológicos, como el ciclo de vida de las pulgas y por ende se ven afectadas las poblaciones de los hospederos (Herrero-Cófreces y cols. 2021).

Algunos individuos de los géneros *Plusaetis* y *Strepsylla* no se pudieron identificar hasta nivel de especie, debido a la falta de claves de identificación para hembras.

## 11.6 Parámetros de infección de Sifonápteros

La infección de sifonápteros no mostró diferencias respecto al sexo o el estado reproductivo de las hembras, pero sí dependió de la identidad del hospedero.

La abundancia total de ratones en todo el muestreo presentó una abundancia media de pulgas (AM) más alta en el PNI-P (1.6 de AM), en el PNLM (1.5 de AM), seguido de Nanacamilpa (1.3 de AM). Esto coincide con lo reportado en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) donde hay mayor cobertura vegetal y riqueza de ratones. Las especies más abundantes fueron del género *Peromyscus* y la especie mejor representada en todo el muestreo fue *P. melanotis*. En trabajos en la FVT *P. melanotis* ha mostrado una mayor abundancia relativa respecto al resto de hospederos (Tipton y Mendez 1968; Castro-Campillo y cols. 2008; Acosta y Fernández 2015). Estos resultados se deben considerar con cautela debido a que las poblaciones de las diferentes especies de ratones pueden presentar fluctuaciones por la temporalidad, recursos disponibles y a la perturbación humana (Calisher y cols. 2005).

La prevalencia general de este trabajo fue de 38.6 %, de forma similar a lo reportado en otros trabajos en bosques templados (Aguilar-Montiel y cols. 2019; Acosta y Fernández 2015; Kiffney y cols. 2014). La prevalencia (P) y Abundancia Media (AM) de los sifonápteros varió entre las especies, pero no se observó ningún efecto sobre el sexo y el estado reproductivo. De forma similar a otros trabajos donde se ha comparado la infección por pulgas de acuerdo con el sexo del hospedero en pequeños mamíferos (Kiffner y cols. 2013; Mathee y cols. 2010; Kowalski y cols. 2015).

Cabe señalar que, a pesar de que se ha mencionado que la infección por sifonápteros en pequeños mamíferos presenta un sesgo hacia machos (Mathee y cols. 2010; Kiffner y cols. 2013; Kowalski y cols. 2015), nuestros resultados no mostraron este efecto, pero sí con respecto a la especie del hospedero. Los roedores machos de *Apodemus agrarius* y *Myodes glareolus* en distintos trabajos como en Kiffner y cols. (2014) tuvieron más pulgas que las hembras. También se encontró una correlación positiva entre la talla del hospedero y la presencia de pulgas, como en el caso de *M. glareolus* en Kowalski y cols. (2015).

La infección por sifonápteros en este trabajo dependió de la identidad de las especies de hospederos. Esto puede deberse a que dichas especies presentan una distribución más amplia y son más abundantes. En particular, los individuos del género *Peromyscus* mostraron mayor

infección por sifonápteros (Kowalski y cols. 2015). No observamos ese sesgo hacia los machos que se ha estado discutiendo en distintos trabajos, Además, el estado reproductivo no se pudo comparar con los parámetros de infección (P y AM) debido a los escasos datos que se obtuvieron para el análisis.

## 12. CONCLUSIONES

1. El género *Peromyscus* fue el mejor representado con cinco especies.
2. El género *Plusaetis* fue el mejor representado con seis especies.
3. Para el estado de Tlaxcala se registra la presencia del ratón mexicano *P. mexicanus* en el polígono de Mitepec.
4. El PNLN fue el polígono que presentó la mayor riqueza tanto de ratones como de sifonápteros.
5. El sexo y el estado reproductivo de los hospederos no influyeron en la infección por sifonápteros.
6. La identidad de la especie de hospedero estuvo asociada a la infección por sifonápteros.

### 13. PERSPECTIVAS

La emergencia sanitaria que causó el virus SARS-CoV-2 en 2020, provocó que todos los trabajos mastozoológicos (muestreos, captura y manipulación de individuos, colecta de muestras, etc) se vieran afectados. Este trabajo estaba planteado para realizarse cada mes a lo largo de un año, sin embargo, por esta emergencia solo realizamos tres muestreos, provocando que la captura de individuos quedara desbalanceada. Por lo que se propone aumentar el número de muestreos para abarcar todo el año, para balancear la temporada de lluvias y secas y los sitios con diferente grado de perturbación antropogénica, así como la muestra de las hembras en diferentes estados reproductivos. Además, se sugiere describir las características a una escala local para describir el hábitat de los ratones.

En distintas especies de hospederos se ha reportado que no solo una variable del hospedero puede influir, como el sexo, edad, talla corporal o sistema de apareamiento, en la carga de sifonápteros. En el trabajo no se encontró suficiente evidencia en la influencia del sexo sobre la infección por sifonápteros lo cual se propone analizar diversas variables relacionadas con sus hospederos, como son la talla, condición corporal, edad, sexo, al igual incluir factores fisiológicos para así conocer de mejor manera los mecanismos de la infección por pulgas en sus diferentes hospederos.

Puesto que la identidad del hospedero fue el único factor que estuvo asociado con la infección por sifonápteros se sugiere estudiar cada especie de hospedero o solo una sola especie en distintas comunidades asociado con la identidad de sus ectoparásitos (sifonápteros) para abordar sus distintas historias evolutivas que pudieran compartir y conocer su distribución en sus hospederos.

La tendencia a una mayor infección en los machos no es una regla como se ha mencionado. En el presente trabajo se observa una ligera tendencia a que los machos sean más infectados por sifonápteros, lo que sugiere realizar un muestreo más extenso y conocer la dinámica de infección por sifonápteros tomando como mínimo un lapso de un año, esto para abarcar distintos factores abióticos (factores ambientales) como las temporadas climáticas, humedad, precipitación, temperatura, altitud, tipo de suelo y sus componentes (ph, acidez, humedad, minerales), relieve, entre otros para conocer cómo afectan al hospedero o a la supervivencias de las pulgas. Así como correlacionar las con variables del hospedero.

Debido a las modificaciones antrópicas al hábitat de distintas especies, se sugiere ampliar los sitios de muestreo a diferentes ambientes para explorar si el cúmulo de variables como la vegetación en estos sitios son factores que se relacionan con la infección por sifonápteros y ampliar información de sus abundancias y riquezas en estas condiciones. También se podría explorar cómo la fragmentación debido a la agricultura o tala del bosque pudiera afectar la riqueza e infección de sifonápteros.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta R y Morrone J. 2003. Clave ilustrada para la identificación de los taxones supraespecíficos de Siphonaptera de México. *Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie* 89: 39–53.
- Acosta R y Fernández JA. 2005. Pulgas (Insecta: Siphonaptera) Fauna de pulgas asociadas a mamíferos En: Biodiversidad del Parque Nacional Malinche. Sánchez, Windfield y Fernández (Eds.) Editorial Independiente, 157-174.
- Acosta R y Fernández JA. 2007. Fauna de pulgas y sus huéspedes. En: Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. I. Luna, Morrone y D. Espinosa (Eds.) UNAM, México, D.F. (pp. 357-370).
- Acosta R, Fernández JA, Llorente JB y Jiménez MC. 2008. Catálogo de Pulgas (Insecta: Siphonaptera). México D.F. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Acosta R. 2010. Five new Mexican species of the flea genus *Strepsylla* Traub, 1950 (Siphonaptera: Ctenophthamidae: Neopsyllinae: Phalacrocyllini) with a phylogenetic analysis. *Journal of Parasitology*, 96: 285-298.
- Acosta-Gutiérrez R. 2014. Biodiversidad de Siphonaptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 345-352.
- Acosta R y Fernández JA. 2015. Flea diversity and prevalence on arid-adapted rodents in the Oriental Basin, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86: 981–988.
- Aguilar-Montiel F, Estrada-Torres A, Acosta R, Rubio-Godoy M y Vázquez J. 2019. Host species influence on flea (Siphonaptera) infection parameters of terrestrial micromammals in a temperate forest of Mexico. *Parasitology*, 146(5), 670–677.
- Badilla M, Hakalahti T, Hudson PJ y Valtonen ET. 2005. Aggregation of *Argulus coregoni* (Crustacea: Branchiura) on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): a consequence of host susceptibility or exposure? *Parasitology*, 130:169–176.
- Barrera A. 1954. Notas sobre sifonápteros. Nuevas localidades de especies conocidas y nuevas para México y diagnosis de *Pleochaetis apollinaris aztecus* subsp. Nov. *Ciencia*, 14: 137-139.
- Barrera A. 1968. Distribución cliserial de los Siphonaptera del volcán Popocatepetl, su interpretación biogeográfica. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México* 39:35-100.

- Bates D, Maechler M, Bolker B y Walker S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Bitam I, Dittmar K, Parola P, Whiting MF y Raoult D. 2010. Fleas and flea-borne diseases. *International Journal of Infectious Diseases*, 14: e667–e676.
- Bush A, Lafferty K, Lotz J y Shostak A. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis y cols. revisited. *Journal of Parasitology*, 83: 575–583.
- Calisher CH, Mills JN, Sweeney WP, Root JJ, Reeder SA, Jentes ES, Wagoner K y Beaty BJ. 2005. Population Dynamics of a diverse rodent assemblage in mixed Grass-Shrub hábitat, Southeastern Colorado, 1995-2000. *Journal of Wildlife Diseases*, 41:12-28.
- Castañeda-Díaz S, Granados-Victorino RX y Sánchez-González A. 2023. Contribución al conocimiento de las licofitas y los helechos de Españita, Tlaxcala, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10: e3123 <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3123>.
- Castro-Campillo A, Salame-Méndez A, Vergara-Huerta J, Castillo A y Ramírez-Pulido J. 2008. Fluctuaciones de micromamíferos terrestres en bosques templados aledaños a la Ciudad de México. En: *Avances en el estudio de los mamíferos de México II*. Lorenzo C, Espinoza E y Ortega J (eds.). Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. pp.691Libro
- Ceballos G y Oliva G. 2005. *Los mamíferos silvestres de México* (Ceballos G. y Oliva G. coord.) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Fondo de Cultura Económica. Pp. 986. Hong Kong Toppan Printing Co. 2005.
- Christe P, Morand S y Michaux J. 2006. Biological conservation and parasitism. In: Morand, S., Krasnov, B.R., Poulin, R. (eds) *Micromammals and Macroparasites*. Springer, Tokyo. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-36025-4\\_27](https://doi.org/10.1007/978-4-431-36025-4_27)
- CONANP. 2013. Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl. 1ra ed. Pag 11-3.
- Ebert D y Herre EA. 1996. The evolution of parasitic diseases. *Parasitology Today*, 12: 96–101.
- Escalante T, Rodríguez-Tapia G y Morrone JJ. 2004. The diversification of Nearctic mammals in the Mexican Transition Zone. *Biological Journal of the Linnean Society*, 83: 327–339.
- Falcón-Ordaz J, Acosta R, Fernández, JA y Lira-Guerrero G. (2012). Helminths and siphonapteran parasites of five species of rodents in localities of the Eastern Basin, in the center of Mexico.

- Fantozzi MC, Sánchez JP, Lareschi M, Beldomenico PM. 2022. Effects of host factors on the dynamics of fleas (Siphonaptera) in Sigmodontinae rodents (Cricetidae) from El Espinal Ecoregion, Argentina. *Acta tropical*, 225:106177.
- Fernández JA. 2005. Mamíferos. En Biodiversidad del Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala, México, J. A. Fernández y J. C. López-Domínguez (eds.). Coordinación General de Ecología Estado de Tlaxcala. Tlaxcala. p. 137-148.
- Fernandez-Meza JI. 2021, Mamíferos terrestres de una zona boscosa del municipio de Tetla de la Solidaridad y variaciones en su diversidad con relación a la distancia de asentamientos humanos [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Fuentes-Tejeda JA. 2023. Composición y estructura del ensamble de roedores en un sistema agrícola de la zona de lomeríos del centro de Tlaxcala [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Girard I, Swallow JG, Carter PA, Koteja P, Rhodes JS y Gardand Jr T. 2002. Maternal-care behavior and life-history traits in house mice (*Mus domesticus*) artificially selected for high voluntary wheel-running activity. *Behavioural Processes*, 57:37-50.
- Gutiérrez-Velázquez AL, Acosta-Gutiérrez R y Ortiz-Lozano L. 2006. Patrones de distribución del orden siphonaptera, pp. 591-627 en: Morrone, J. J. Y J. Llorente Bousquets (eds.), componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana, Las Prensas de Ciencias, UNAM, México D. F.
- Gorrell JC y Schulte-Hostedde AI. 2008. Patterns of parasitism and body size in red squirrels (*Tamiasciurus hudsonicus*). *Canadian Journal of Zoology*, 86:99–107.
- Hall ER. 1981. The Mammals of North America. Vol. II. Caldwell, New Jersey. John Wiley & Sons, Inc.
- Hamidi K y Bueno-Marí R. 2021. Host-ectoparasite associations; the role of host traits, season and habitat on parasitism interactions of the rodents of northeastern Iran. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24:308-319.
- Hastriter MW, Haas GE y Wilson N. 2006. New distribution records for *Stenoponia americana* (Baker)

- and *Stenoponia ponera* Traub and Johnson (Siphonaptera: Ctenophthalmidae) with a review of records from the Southwestern United States. *Zootaxa*, 1253: 51-59.
- Hammond TT, Hendrickson CI, Maxwell TL, Petrosky AL, Palme R y Pigage JC. 2019. Host biology and environmental variables differentially predict flea abundance for two rodent hosts in a plague-relevant system. *International Journal Parasitology: Parasites and wildlife*, 9:174-183.
- Hayward AD, Wilson AJ, Pilkinton JG, Pemberton JM y Kruuk LEB. 2006. Ageing in a variable habitat: environmental stress affects senescence in parasite resistance in St Kilda Soay sheep. *Proceeding of the Royal Society B*. 276:3477-3485.
- Herrero-Cófreces S, Flechoso MF, Rofríguez-Pastor R, Luque-Larena JJ y Mougeot F. 2021. Patterns of flea infestation in rodents and insectivores from intensified agroecosystems, Northwest Spain. *Parasites Vectors*, 14-16.
- Hopkins GH y Rothschild M. 1962. An illustrated catalogue of the Rothschild collection of fleas (Siphonaptera) in the British Museum (Natural History) IV. Hystriochopsyllidae, Ctenophthalmidae, Dinopsyllinae and Listropsyllinae. British Museum (N.H.). London.
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Francisco Tetlanohcan, Tlaxcala. Recuperado el 9 de febrero de 2024: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/29/29050.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/29/29050.pdf).
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Tlaxcala, Tlaxcala. 2010. Recuperado el 9 de febrero de 2024. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/29/29033.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/29/29033.pdf).
- INEGI, 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010 Hueyotlipan. Recuperado el 9 de febrero de 2024: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/29/29014.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/29/29014.pdf).
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010 Españaita. Recuperado el 9 de febrero de 2024: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/29/29012.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/29/29012.pdf).
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010 Tlahuapan, Puebla. Recuperado el 9 de febrero de 2024: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21180.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21180.pdf).

- Khokhlova IS, Spinu M, Ksanov BR y Degen AA. 2004. Immune responses to fleas in two rodent species differing in natural prevalence of infestation and diversity of flea assemblages. *Parasitology Research*, 94:304-311.
- Khokhlova IS, Serobyany V, Degen A y Krasnov B. 2011. Discrimination of host sex by a haematophagous ectoparasite. *Animal Behavior*, 81:275–281.
- Kiffner C, Stanko M, Morand S, Khokhlova IS, Shenbrot GI, Laudisoit A, Herwig L, Hawlena H y Krasnov BR. 2013. Sex-biased parasitism is not universal: evidence from rodent–flea associations from three biomes. *Oecologia*, 173:1009.1022.
- Kiffner C, Stanko M, Morand S, Khokhlova I, Shenbrot G, Laudisoit A, Leirs H, Leirs H y Krasnov BR. 2014. Variable effects of host characteristics on species richness of flea infracommunities in rodents from three continents. *Parasitology Research*, 113:2777–1788.
- Klein SL. 2004. Hormonal and immunological mechanisms mediating sex differences in parasite infection. *Parasity immunology*, 26:247-264.
- Kowalski K, Bogdziewicz M, Eichert U, y Rychlik L. 2015. Sex differences in flea infections among rodent hosts: is there a male bias? *Parasitology Research*, 114:337–341.
- Krasnov BR, Khokhlova IS, Fielden LJ y Burdelova NV. 2001. Effect of Air Temperature and Humidity on the Survival of Pre-Imaginal Stages of Two Flea Species (Siphonaptera: Pulicidae). *Journal of Medical Entomology*, 35(5):629-637.
- Krasnov BR, Poulin R, Mouillot, Shenbrot GI, Khokhlova, Mouillot D y Khokhlova IS. 2004. Ectoparasitic “jacks-of-all-trades”: relationship between abundance and host specificity in fleas (Siphonaptera) parasitic on small mammals. *Amer. Nat*, 164:506–515.
- Kasnov BR, Shenbrot GI, Khokhova IS y Degen A. 2004. Relationship between host diversity and parasite diversity: flea assemblages on small mammals. *Journal of Biogeography*, 31: 185-1866.
- Krasnov BR, Morand S, Hawlena H, Khokhlova I y Shenbrot G. 2005. Sex-biased parasitism, seasonality, and sexual size dimorphism in desert rodents, *Oecologia*, 146:209-2017.
- Krasnov BR, Stanko M y Morand S. 2006. Age-dependent flea (Siphonaptera) Parasitism in rodents: A host’s life history matters. *Journal of parasitologists*, 92(2): 242-248.
- Krasnov BR. 2008. *Functional and Evolutionary Ecology of Fleas: a Model for ecological Parasitology* (ed Krasnov, BR). Cambridge University Press. Pp 593.

- Krasnov BR y Matthee S. 2010. Spatial variation in gender-biased parasitism: host-related, parasite-related and environment-related effects. *Parasitology*, 137:1527-1516
- Krasnov BR, Stanko M y Morand S. 2011. An attempt to use ectoparasites as tags for habitat occupancy by small mammalian hosts in central Europe: effects of host gender, parasite taxon and season. *Parasitology*, 138:609–618.
- Lareschi M. 2006. The relationship of sex and ectoparasite infestation in the water rat *Scapteromys aquaticus* (Rodentia: Cricetidae) in La Plata, Argentina. *Revista de Biología Tropical* 52(2):673-679.
- Linardi PM y Guimaraes LR. 2000. Sifonápteros Do Brasil. Sao Paulo, Museo de Zoologia USP/FAPESP.
- Linardi PM y Krasnov BR. 2013. Patterns of diversity and abundance of fleas and mites in the Neotropics: host-related, parasite-related and environment-related factors. *Medical and Veterinary Entomology*, 27(1):49-58.
- Matthee A, McGeoch MA y Krasnow BR. 2010. Parasite-specific variation and the extent of male-biased parasitism; an example with a South African rodent and ectoparasitic arthropods. *Parasitology*, 137:651–660.
- Mckinney ML. 2008. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosyst*, 11: 161-176.
- Medvedev SG. 1997. Host-parasite relations of fleas (Siphonaptera): II. *Entomological Review*, 7: 511-521.
- Ming M, Yuan S, Fu H, Li X, Zhang H, Liu T, Bu F y Wu X. 2023. Influence of biotic and abiotic factors on flea species population dynamics on *Lasiopodomys brandtii*. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 21:185-191
- Molina X, Casanova J y Feliu. 1999. Influence of host weight, sex and reproductive status on helminth parasites of the wild rabbit, *Oryctolagus cuniculus*, in Navarra, Spain. *Journal of Helminthology*, 73:221-225.
- Morand S, Gouy de Bellocq J, Stanko M y Miklisoá. 2004. Is sex-biased ectoparasitism related to sexual size dimorphism in small mammals of Central Europe? *Parasitology*, 129:505-510.

- Morales-Díaz SP, Alvarez-Añorve MY, Zamora-Espinoza ME, Dirzo R, Oyama K y Avila-Cabadilla LD. 2019. Rodent community responses to vegetation and landscape changes in early successional stages of tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 433: 633-644.
- Morrone JJ, Acosta R y Gutiérrez A. 2000. Cladistics, biogeography, and host relationships of the flea subgenus *Ctenophtalmus* (*Alloctenus*), with the description of a new Mexican species (Siphonaptera: Ctenophtalmidae). *Journal of New York Entomological Society*, 108: 1-12.
- Morrone JJ y Gutiérrez A. 2005. Do fleas (Insecta: Siphonaptera) parallel their mammal host diversification in the Mexican Transition Zone? *Journal of Biogeography*, 32: 1315–1325.
- Obiegala A, Arnol L, Pfeffer M, Kiefer M, Kiefer D, Sauter-Louis C y Silaghi C. 2021. Host–parasite interactions of rodent hosts and ectoparasite communities from different habitats in Germany. *Parasites Vectors*, 14:112.
- Patterson B, Dick C y Dittmar K. 2008. Sex biases in parasitism of Neotropical bats by bat flies (Diptera: Streblidae). *Journal of Tropical Ecology*, 24:387–396.
- Pontifes PA, Fernández-Gonzales A, Garcia-Peña GE, Roche B y Suzán G. 2021. Drivers of flea abundance in wild rodents across local and regional scales in the Chihuahuan Desert, northwestern Mexico. *Ecosphera*, 13: e4013 DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.4013>
- Ramírez-Albores JE, León-Paniagua LL y Navarro-Sigüenza AG. 2014. Mamíferos silvestres del Parque Ecoturístico Piedra Canteada y alrededores, Tlaxcala, México; con notas sobre algunos registros notables para el área. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:48-61.
- Rojas LR y Barboza MR. 2007. Ecología poblacional del ratón *Peromyscus mexicanus* (Rodentia: Muridae) en el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 55(3-4): 1037-1050.
- Ruiz-Soberanes JA y Gómez-Álvarez G. 2010. Estudio mastofaunístico del Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala, México. *THERYA* 1(2): 97-110.
- R Development Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reid FA. 2006. *Mammals of North America*.
- Rodríguez-Martínez L, Vázquez J, Aguilar F y Morales M. 2015. Diversidad de mamíferos del Estado de Tlaxcala. En: *Contribución al conocimiento de la Biodiversidad en Tlaxcala*. Lara, C., Serrano-Meneses, M. Rodríguez M, L. y Vázquez, J. (Eds.). pp. 69-144. Universidad Autónoma de Tlaxcala.

- Sánchez-Cordero V, Botello F, Flores-Martínez JJ, Gómez-Rodríguez RA, Guevara L, Gutiérrez-Granados G y Rodríguez-Moreno A. 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:S496-S504. DOI: 10.7550/rmb.31688.
- Scantlebury M, McWilliams MM, Marcks N.J, Dick JT. A, Edgar H y Lutermann H. 2010. Effects of life-history traits on parasite load in grey squirrels. *Journal of Zoology*, 282:546-255.
- Shilereyo M, Magige F, Ranke PS, Ogutu JO y Røskaft E. 2022. Ectoparasite load of small mammals in the Serengeti Ecosystem: effects of land use, season, host species, age, sex and breeding status. *Parasitology Research*, 121:823-838.
- Sikes RS and the Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. 2016. 2016 Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. *Journal of Mammalogy*, 97: 663–688.
- Smit FGAM. 1957. Handbook for the identification of British insects (Siphonaptera), Vol. 1, Part 16. Royal Entomological Society of London, London, U.K., 94 p.
- Smith JE, Smith IB, Working CL, Russell ID, Krout SA, Singh KS y Sih A. 2021. Host traits, identity, and ecological conditions predict consistent flea abundance and prevalence on free-living California ground squirrels. *International Journal for Parasitology*, 51(7): 587-598.
- Telfer S, Bown KJ, Sekules R, Begon M, Heyden T, Birtles R. 2005. Disruption of a host-parasite system following the introduction of an exotic host species. *Parasitology*, 130: 661-668.
- Traub R. 1950. Siphonáptera from Central America and Mexico. A morphological study of the aedeagus with descriptions of new genera and species. *Fieldiana: Zoology Memoirs*. Schmidt, K., P. and Ross, L., A. (Eds.) Vol. 1, Pp 127. Chicago Natural History Museum.
- Tipton VJ y Mendez E. 1968. New species of fleas (Siphonaptera) From cerro Potosi, Mexico, with notes on rcology and host parasite relationships. *Pacific Insects* 10(1):177-214.
- Vázquez JP. 2005. Carga de parásitos y su relación con el estado fisiológico del conejo endémico de México *Sylvilagus cunicularius* [Tesis de Maestria]. Universidad Veracruzana.
- Veitch JSM, Bowman J y Schulte-Hostadde AI. 2020. Parasite species co-ccurrence patterns on *Peromyscus*: Joint species distribution modelling. *LJP: Parasites and Wildlife*, 12:199-206.
- Veitch JSM, Bowman J, Mastro Monaco G y Schulte-Hostedde IA. 2021. Costicosterona response by *Peromyscus* mice to parasite, reproductive season, and age. *Gen Comp Endocrinol*, 1;300:113640. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113640>.

- Venables W y Ripley B. 2002 Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Whiting HS, Whiting AS, Hastriter MW y Dittmar K. 2008. Molecular phylogeny of fleas (Insecta:Siphonaptera): origins and host associations. *Cladistics*, 24, 1-31.
- Villalobos-Cuevas VA, Weber M, Lareschi M y Acosta R. Pulgas parásitas de mamíferos pequeños y medianos de Calakmul, Campeche, México y nuevos registros de localidades. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(4): 1372-1378.
- Wolff JO y Sherman P. 2007. *Rodent Societies*. Chicago y London. The University of Chicago Press.
- Yamamura N. 1993 Vertical transmission and evolution of mutualism from parasitism. *Theoretical Population Biology*, 44:95–109.
- Yin J-X, Chen X-O, Luo Y-Y, Zhao Q-F, Wei Z-F, Xu D-D, Wang M-D, Zhou Y, Wang X-F y Liu ZX. 2020. The relationship between fleas and small mammals in households of the Western Yunnan Province, China. *Sci Rep* 10(1): 16705. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73690-0>.
- Zuk M y McKean KA. 1996. Sex Differences in Parasite Infections: Patterns and Processes. *International Journal for Parasitology*, 26(10): 1009-1024.

## 15. ANEXOS

Resumen de participación en el XV Congreso Nacional de Mastozoología

Parasitación por sifonápteros en roedores en la zona central de la faja volcánica transmexicana

**Introducción:** Los roedores son hospederos sumamente importantes para describir la fauna de sifonápteros, así como los parámetros de infección. La asociación entre ambos es de importancia en el aspecto ecológico, ya que algunas especies de sifonápteros muestran ciertas preferencias debido a características del hospedero. Evidencias muestran que la infestación por sifonápteros está sesgado a machos en ciertas especies de roedores, sin embargo, este tipo de trabajos han sido poco estudiados en México. Por lo cual el objetivo de este trabajo es conocer si factores como el sexo y la identidad del hospedero en ratones influyen en los parámetros de infección (Prevalencia= $P$ , Abundancia-Media= $MA$ , intensidad-Media= $MI$ ) de sifonápteros.

**Métodos:** El área de estudio se ubicó en la zona central de la faja volcánica transmexicana. Las capturas de ratones las realizamos usando trampas Sherman durante toda la noche, registramos medidas convencionales, peso y sexo de los ratones. Los sifonápteros los colectamos en tubos eppendorf con alcohol al 70% para su identificación mediante la técnica de Smit.

**Resultados:** En este trabajo identificamos 11 especies de roedores incluidas en cinco géneros ( $N=229$ ) y colectamos 330 sifonápteros aún por identificar. Registramos 123 roedores parasitados, los machos presentaron mayor parasitación ( $P=44.79\%$  y  $MA=1.13$ ), las hembras presentaron mayor  $MI=2.90$ , al igual, tuvieron en su mayoría mayor parasitación dependiendo la identidad del hospedero.

**Conclusión:** Con nuestros resultados nos permiten conocer que el género más parasitado es *Peromyscus* y saber que *Neotomodon alstoni* especie endémica, sigue el patrón sesgado a los machos. Analizando que el sesgo de parasitación a machos puede variar respecto al hospedero.

Palabras claves Malinche; Parámetros de infección; Ratones; Sesgo; Tlaxcala

## Resumen de participación en el VIII Congreso Mexicano de Ecología

### Factores del hospedero que influyen en la dinámica de sifonápteros, especie y sexo

Los ratones silvestres son hospederos de ectoparásitos como las pulgas (sifonápteros). Las pulgas son parásitos hematófagos con una distribución cosmopolita caracterizada por un número desigual de especies en las diferentes regiones geográficas que habitan. A nivel de comunidad, la interacción entre ratones silvestres y sus parásitos pueden variar en diversas formas. Algunos factores como la identidad de la especie y sexo, edad del hospedero, por mencionar algunos, pueden influir en la presencia de especies de pulgas asociadas a ellas, así como en su abundancia y prevalencia. Hasta ahora no hay consenso sobre una mayor infección de pulgas en alguno de los sexos. En los machos, el rango de hábitat es más extenso, lo que facilita un aumento en la infección de manera transversal. Al igual, algunos estudios han sugerido que la influencia del sexo sobre la infección podría depender de la especie de hospedero. Por lo que el objetivo de este trabajo es conocer si la identidad y el sexo de las especies de hospederos influye sobre los parámetros de infección (prevalencia, abundancia media e intensidad media) de pulgas. El área de estudio se ubica en la zona central-poniente del estado de Tlaxcala, abarcando la zona de lomeríos de la región central del estado y en colindancias con los Parques Nacionales Iztaccíhuatl-Popocatepetl y La Malinche. Los muestreos los realizamos de 2019 a 2022, en tres fechas diferentes. A los ratones los capturamos usando trampas Sherman y avena como cebo, les registramos las medidas convencionales, peso, sexo y estado reproductivo. Las pulgas colectadas las almacenamos en viales con alcohol al 70% para su posterior identificación. Hasta el momento hemos colectado ocho especies de roedores incluidas en cinco géneros y 227 pulgas aún por identificar. En cuanto a la infección por parásitos hemos observado una mayor prevalencia en los machos del género *Peromyscus* y la especie con mayor abundancia media ha sido *P. melanotis*. Estos resultados apoyan lo reportado sobre la influencia de la identidad de especies y las propuestas de una mayor infección de pulgas en machos. Agradecimientos: Beca CONACyt JIFM 1159752, CA UATLX-CA-227 y SRE-CONACyt proyecto 286794.

## Resumen de participación en el VIII Congreso Nacional de Fauna Nativa en Ambientes Antropizado (REFAMA)

### Riqueza de roedores y parámetros de infección de pulgas en sitios con vegetación nativa y agrícolas en el centro de México

El deterioro de los ambientes naturales a causa de actividad antrópica, como la creación de áreas agrícolas, afecta la diversidad de los roedores, pero poco se conoce si los parámetros de infección por pulgas también se ven afectados. El objetivo de este trabajo fue conocer si los parámetros de infección por pulgas en ratones de áreas agrícolas difieren respecto a las áreas de vegetación nativa. El sitio de estudio se ubicó en los Parques Nacionales Iztaccíhuatl-Popocatepetl y La Malinche y parte del estado de Tlaxcala. El muestreo se realizó en tres diferentes periodos (2019, 2021 y 2022), se capturaron ratones con trampas Sherman cebadas con avena en sitios de vegetación nativa (VN) y sitios agrícolas (SA). Se identificó la especie de los ratones y se colectaron pulgas de cada individuo. En los sitios de VN se identificaron 11 especies de ratones, mientras que en los SA solamente 6. Respecto a los parámetros de infección, en VN la prevalencia fue de 42.7%, mientras en SA fue 28.8%, en cuanto a la Abundancia-Media en VN fue 1.2, mientras que en SA 0.5. Adicionalmente se identificó un patrón en los parámetros de infección distinto entre ambos sitios. El sitio de VN hembras y machos mostraron valores similares en abundancia media (machos=1.2 y hembras=1.1) lo cual fue diferente al SA (machos=0.5 y hembras=0.2). En conclusión, no solo la riqueza de especies de ratones se ve afectada en SA, también los parámetros de infección por pulgas.