



# Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

Patrón de actividad de *Sylvilagus* spp. ante la presencia de depredadores nativos (*Canis latrans*) y exóticos (*C. lupus familiaris*) en el Parque Nacional La Malinche

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Hanz Miguel Guerrero Bernal

Co-directores

Dr. Jorge Vázquez Pérez

Dr. Eduardo Felipe Aguilera Miller

Tlaxcala, Tlax.

Febrero, 2024





# Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

Patrón de actividad de *Sylvilagus* spp. ante la presencia de depredadores nativos (*Canis latrans*) y exóticos (*C. lupus familiaris*) en el Parque Nacional La Malinche

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

**Hanz Miguel Guerrero Bernal**

### **Comité Tutorial**

Co-directores

Dr. Jorge Vázquez Pérez

Dr. Eduardo Felipe Aguilera Miller

Tutores

Dra. María Luisa Rodríguez Martínez

Dr. Fernando Aguilar Montiel

Dr. Amando Bautista Ortega

Tlaxcala, Tlax.

Febrero, 2024

## **Hoja de financiamiento**

El trabajo de campo del presente proyecto se llevó a cabo en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala y en las Instalaciones de la Estación Científica La Malinche UATX- UNAM. El trabajo de laboratorio se efectuó en las instalaciones del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, el cual es Unidad Periférica del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM.

Se contó con financiamiento del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (beca 834665) y del Posgrado en Ciencias Biológicas de la UATx.

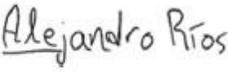


**COORDINACIÓN MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA  
P R E S E N T E**

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que **Hanz Miguel Guerrero Bernal** 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 "Variación de los patrones de actividad diarios de *Sylvilagus cunicularius* y *S. floridanus* ante la presencia de depredadores nativos y exóticos en el Parque Nacional La Malinche.

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
TLAXCALA, TLAX., A 09 DE ENERO DEL 2025

 DR. JORGE VÁZQUEZ PÉREZ	 DR. EDUARDO FELIPE AGUILERA MILLER
 DR. FERNANDO AGUILAR MONTIEL	 DRA. MARÍA LUISA RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
 DR. AMANDO BAUTISTA ORTEGA	 DR. ALEJANDRO ARIEL RÍOS CHELÉN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA  
Secretaría de Investigación Científica y Posgrado  
Coordinación de la División de Ciencias Biológicas  
Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta



COMITÉ ACADÉMICO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Sirva este medio para describir el proceso de revisión de la tesis realizada por El estudiante Hanz Miguel Guerrero Bernal titulada "Patrón de actividad de *Sylvilagus* spp. ante la presencia de depredadores nativos (*Canis latrans*) y exóticos (*C. lupus familiaris*) en el Parque Nacional La Malinche" para optar por su grado de Maestro en Ciencias Biológicas.

El documento de la tesis de HANZ MIGUEL GUERRERO BERNAL fue revisado por los co-directores 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 (4%). Examinando los detalles de la búsqueda se observó que las similitudes están marcadas en algunos pies de figuras, pero dicho texto contiene las respectivas citas que indican de donde fue tomada la información. Otras similitudes se observaron en la sección del índice y la metodología, correspondiendo a lenguaje común por lo que esta similitud no podría ser considerada como plagio.

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

Sin más por el momento, reciban atentos saludos.

ATENTAMENTE  
Tlaxcala, Tlax., a 07 DE ENERO DE 2025

  
Dr. Jorge Vázquez Pérez  
Co-director

  
Dr. Eduardo Felipe Aguilera Miller  
Co-director



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

## **Agradecimientos**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, al Centro Tlaxcala Biología de la Conducta por las facilidades otorgadas durante mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el otorgamiento de la beca 834665.

A mis directores de tesis el Dr. Jorge Vázquez Pérez y el Dr. Eduardo Felipe Aguilera Miller.  
A mi comité tutorial: Dra. María Luisa Rodríguez Martínez, Dr. Fernando Aguilar Montiel y Dr. Amando Bautista Ortega.

## **Agradecimientos personales**

A mis padres Haydeé y Gerardo, siempre acompañando cada paso que doy a pesar de la distancia. Los amo.

A mi familia, en especial mi hermano Axel, Rafa, Areli, Tania, tías Yessi, Adriana, Claudia, abuelita Esther, por su apoyo, siempre al pendiente y echando porras en todo lo que hago.

A Dani, Naye, Toño, Gaby, Lupita, Ana Karen, que hicieron el camino de la maestría más fácil, así como sentirme en casa.

Al laboratorio de Los Silvestres, Dr. Jorge, Dra. Luisa, Dr. Lalo, Dr. Fer, Liz, Jorge, mejor equipo no hay. Y como directores de tesis y comité tutorial me hicieron mejorar y aguantaron los bajones, se los debo.

A Quique, que no lo sabe pero sus consejos me permitieron sobrellevar algunos momentos complicados.

A Ivett, en las buenas y en las malas.

## **Dedicatoria**

A mi abuelita Teté, siempre presente en cada paso y cada logro, te amo.

## RESUMEN

El análisis de los patrones de actividad diaria constituye un marco apropiado para comprender aspectos ecológicos de los mamíferos y evaluar el impacto generado por las actividades humanas, como es el caso de la introducción de fauna exótica en áreas naturales. El Parque Nacional La Malinche (PNLM) destaca por ser considerado como uno de los remanentes más importantes de bosques de coníferas y praderas de alta montaña en el centro del país, además del gran número de especies endémicas que la habitan. Sin embargo, la presión antrópica ha generado un fuerte impacto en sus recursos naturales y en el mantenimiento de la biodiversidad. En el PNLM se encuentran dos especies de conejo, *Sylvilagus cunicularius* y *S. floridanus*, generalmente descritos con un patrón de actividad principalmente crepuscular, una estrategia para evitar depredadores diurnos y nocturnos. Entre las diferentes funciones que desempeñan en su hábitat, se encuentra su papel como presas de los principales depredadores del área, entre ellos el coyote (*Canis latrans*), descrito como una especie nocturna. Sin embargo, dentro del PNLM se ha registrado la presencia de fauna exótica como perros (*Canis lupus familiaris*), con una actividad diurna. La presencia de perros como un depredador novedoso puede provocar consecuencias negativas para los conejos derivado de superposiciones temporales en los picos de mayor actividad. Por lo tanto, el objetivo general de este estudio fue determinar los patrones de actividad diarios de *Sylvilagus* spp. ante la presencia de depredadores nativos (*C. latrans*) y exóticos (*C. l. familiaris*) en el PNLM. Por medio de fototampas se realizó un monitoreo de octubre de 2022 a febrero de 2024, empleando 13 estaciones de fototrampeo con diferente tiempo de registro de datos. Los resultados muestran que es más probable encontrar conejos en sitios que combinen tipos de cobertura arbórea con pastizal. En cuanto a la actividad de los conejos, se encontró que desarrollan un patrón de actividad nocturno con picos de actividad crepuscular. Además, presentan una mayor exclusión temporal con perros que con coyotes. Así mismo, se encontró que en estaciones de fototrampeo con elevada frecuencia de registros de depredadores, el incremento de la actividad de los conejos se ve asociada al descenso de la actividad de depredadores y viceversa. Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que los conejos del PNLM presentan patrones de actividad en los cuales evitan sincronizar sus periodos de mayor actividad con los de depredadores nativos y exóticos. De

igual forma los conejos disminuyen su actividad en sitios con una mayor presencia de depredadores, además de mostrar mayor exclusión temporal con perros que con coyotes.

**Palabras clave**

Interacción depredador-presa, comportamiento antidepredatorio, fototrampeo.

# ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>5.</b>	<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>12</b>
<b>6.</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>12</b>
	<b>5.1 Objetivos particulares</b> .....	12
<b>7.</b>	<b>MÉTODO</b> .....	<b>13</b>
	<b>6.1 Área de estudio</b> .....	13
	<b>6.2 Trabajo de campo y obtención de registros fotográficos por fototrampeo</b> .....	13
	<b>6.3 Análisis de datos</b> .....	16
	6.3.1 Descripción de la cobertura de vegetación de las estaciones de fototrampeo .....	16
	6.3.1.1 Porcentaje de cobertura vegetal por estación de fototrampeo .....	16
	6.3.1.2 Indicador de uso de espacio .....	16
	6.3.2 Patrones de actividad .....	17
	6.3.3 Superposición de los patrones de actividad .....	17
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>19</b>
	<b>7.1 Descripción de la cobertura de vegetación de las estaciones de fototrampeo</b> .....	19
	7.1.1 Porcentaje de cobertura vegetal por estación de fototrampeo.....	19
	7.1.2 Indicador de uso de espacio .....	20
	<b>7.2 Patrones de actividad</b> .....	21
	7.2.1 Patrón de actividad general de <i>Sylvilagus</i> spp. ....	21
	7.2.2 Patrón de actividad de depredadores.....	22
	7.2.3 Patrón de actividad de <i>Sylvilagus</i> spp. en estaciones con alta frecuencia de RFI de depredadores	24
	<b>7.3 Superposición de los patrones de actividad</b> .....	27
	7.3.1 Superposición de los patrones de actividad de conejos y depredadores.....	27
	7.3.2 Superposición de los patrones de actividad en estaciones con alta frecuencia de RFI de depredadores .....	29
<b>9.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>31</b>
	<b>8.1. Cobertura vegetal en relación con la frecuencia de registros de conejos</b> .....	31
	<b>8.2 Patrón de actividad de <i>Sylvilagus</i> spp.</b> .....	32
	<b>8.3 Patrones de actividad de depredadores</b> .....	33
	<b>8.4 Superposición de los patrones de actividad</b> .....	34
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>36</b>
<b>11.</b>	<b>PERSPECTIVAS</b> .....	<b>37</b>
<b>12.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>39</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estaciones de fototrampeo. ....	15
Figura 2. Patrón de actividad general de <i>Sylvilagus</i> spp. Horas nocturnas corresponden al color azul, crepusculares al anaranjado y diurnas al amarillo (n = 12 estaciones; 33 RFI).....	21
Figura 3. Patrón de actividad general de <i>C. latrans</i> (n = 9 estaciones; 91 RFI).....	22
Figura 4. PA general de <i>C. l. familiaris</i> (n = 10 estaciones; 85 RFI). ....	23
Figura 5. PA de <i>Sylvilagus</i> spp. en estaciones de fototrampeo con alta frecuencia de RFI de coyotes (n = 3 estaciones; 109 RFI). ....	25
Figura 6. PA de <i>Sylvilagus</i> spp. en estaciones de fototrampeo con alta frecuencia de RFI de perros (n = 3 estaciones; 65 RFI). ....	26
Figura 7. Superposición del PA de <i>Sylvilagus</i> spp. (línea continua) y <i>C. latrans</i> (línea punteada) (n = 8 estaciones). ....	27
Figura 8. Superposición del PA de <i>Sylvilagus</i> spp. (línea continua) y <i>C. l. familiaris</i> (línea punteada) (n = 10 estaciones). ....	28
Figura 9. Superposición del PA de <i>Sylvilagus</i> spp. (línea continua) y <i>C. latrans</i> (línea punteada) en estaciones con alta frecuencia de RFI de coyotes (n = 3). ....	29
Figura 10. Superposición del PA de <i>Sylvilagus</i> spp. (línea continua) y <i>C. l. familiaris</i> (línea punteada) en estaciones con alta frecuencia de RFI de perros (n = 3). ....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estaciones de fototrampeo, geoposición y periodo durante el cual estuvieron activas. .....	14
Tabla 2 Porcentaje de tipo de cobertura por estación de fototrampeo y RFI de <i>Sylvilagus</i> spp. .....	19
Tabla 3 Registros fotográficos individuales (RFI) por especie y estación de fototrampeo (C1-C13), así como número de días que estuvo activa cada estación de fototrampeo e IUE. ....	20
Tabla 4. Registros fotográficos independientes (RFI) y porcentajes de clasificación y valores de prueba de Rayleigh de patrón de actividad por especie. ....	23
Tabla 5. Estaciones de fototrampeo utilizadas para la obtención de PA de <i>Sylvilagus</i> spp. en sitios con alta frecuencia de registros de <i>C. latrans</i> y <i>C. l. familiaris</i> , así como su número de RFI y porcentaje que representa de los RFI totales. ....	24
Tabla 6. RFI de <i>Sylvilagus</i> spp. en estaciones con alta frecuencia de registro de <i>C. latrans</i> y <i>C. l. familiaris</i> , porcentajes de clasificación y valores de prueba de Rayleigh de PA. ....	26
Tabla 7. Índices de superposición temporal entre <i>Sylvilagus</i> spp. con <i>C. latrans</i> y <i>C. l. familiaris</i> y valores de prueba de Watson. ....	28
Tabla 8. Índices de superposición temporal entre <i>Sylvilagus</i> spp. con <i>C. latrans</i> y <i>C. l. familiaris</i> en estaciones con alta frecuencia de RFI de depredadores y valores de prueba de Watson. ....	30

## 1. INTRODUCCIÓN

La vida de los animales está dividida de forma general en dos estados conductuales: la actividad y el descanso. Estos dos eventos se van alternando a lo largo del ciclo diario de 24 horas, dando como resultado un patrón temporal explícito, denominado patrón diario o patrón de actividad (PA) (Halle y Stenseth 2012). Halle (2000) define estos patrones como "secuencias adaptativas de rutinas diarias que se ajustan a la estructura temporal del entorno moldeado por la evolución, pero que además se ajustan con respuestas flexibles al estado real del entorno". Es decir, los PA de los animales existirán de manera innata, sin embargo, podrán ser moldeados en cierto grado, de acuerdo con diferentes elementos propios del ambiente en el que se desarrollen.

El PA se basa en el ritmo circadiano (RC). Este ritmo biológico se extiende en periodos cercanos a 24 horas. En mamíferos, el RC es generado y modulado por el núcleo supraquiasmático (NSQ), el cual se encuentra en la parte inferior del hipotálamo, donde coordina procesos fisiológicos y bioquímicos en el cuerpo (Kronfeld-Schor y Dayan 2008). El principal estímulo al que responde el RC es al fotoperiodo o el tiempo diario durante el cual un ser vivo se expone a la luz (Bloch et al. 2013). Por lo tanto, los periodos de luz y oscuridad influyen en la actividad de los organismos. Considerados como omnipresentes en la vida de los seres vivos, se reconoce a los RC como funcionalmente adaptativos, es decir, permiten a los organismos responder de manera óptima a cambios predecibles como las temporadas de lluvias y secas, e impredecibles como la introducción de fauna exótica, 0particulares de su entorno. Por tales razones, a pesar de mostrar un cierto grado de rigidez, los RC son consecuencia de la respuesta directa del animal a estímulos ambientales superpuestos al reloj endógeno propio del organismo (Van der Zee et al. 2008, Guadarrama-Ortiz et al. 2014). No obstante que los PA responden al RC, varían según un amplio intervalo de factores como estacionalidad, fases lunares, clima, competencia, depredación, disponibilidad de recursos, fragmentación de hábitat y perturbación antropogénica (Michalski y Norris 2011). Es por ello por lo que la información que proveen los PA permite comprender de mejor manera diferentes aspectos básicos de la

ecología de los mamíferos tales como las interacciones intra e interespecíficas. En este sentido, el tiempo puede servir como una dimensión de nicho sobre la cual los animales que interactúan entre sí pueden segregarse para reducir el efecto de los encuentros agonísticos y de depredación (Carothers y Jaksic 1984). Por lo tanto, conocer cómo se desarrollan las interacciones interespecíficas permite evaluar cómo responden las especies presa a sus depredadores y el impacto de la introducción de fauna exótica sobre el comportamiento de las especies afectadas (Blake et al. 2012).

Los organismos viven en comunidades, formando relaciones de interacción como las de presa-depredador. Estas interacciones tienen un gran impacto sobre las propiedades de una comunidad (como pueden ser la riqueza de especies, estructura trófica, entre otros), al mantener el equilibrio en un ecosistema, promoviendo la diversidad y facilitando el flujo de energía y nutrientes (Begon et al. 2006). Las poblaciones de presas y depredadores se rigen por relaciones denso-dependientes, es decir, el efecto de una especie sobre la otra depende de la abundancia de ambas (equilibrio dinámico) (Guevara y Sainoz 2010). De acuerdo con Lagos (2013), el análisis de la interacción presa-depredador es muy amplio y puede estudiarse desde distintos enfoques como son: el tamaño de las poblaciones de presas y depredadores, la influencia de la depredación sobre la dinámica de la población de las presas (especialmente en la supervivencia juvenil), las estrategias antidepredatorias las cuales pueden manifestarse a través de los patrones de actividad, entre otras. Se ha detectado que las interacciones entre presas y depredadores pueden resultar alteradas e incluso interrumpidas por el impacto que genera la presión antrópica por distintas actividades como es la introducción de fauna exótica (Rodewald et al. 2011).

Alkon y Saltz (1988) señalan que cuando un animal está activo, su comportamiento refleja un equilibrio entre diversas demandas que suelen ser contradictorias. Las principales incluyen la actividad necesaria para optimizar sus objetivos nutricionales y reproductivos, y, en el caso de las especies que son presas, la necesidad de reducir tanto los costos energéticos, de estrés, entre otros, así como el riesgo de ser depredadas. Temporalmente, existe una relación constante y dinámica entre depredadores y presas. La presa se esfuerza en minimizar el riesgo de depredación al reducir la superposición de sus horarios de actividad con las de los

depredadores, mientras que estos últimos rastrean a las presas tratando de sincronizar su horario de actividad con la de ellas (Lima 2002). Los tiempos de actividad de las presas suelen estar vinculados a un mayor riesgo de mortalidad, por lo que es crucial para su supervivencia desarrollar estrategias que disminuyan las probabilidades de ser capturadas por depredadores (Lima y Dill 1990).

En el caso de mamíferos pequeños y medianos que tienen un papel de presas potenciales para diferentes carnívoros, se ha reportado la capacidad de adaptación y modificación de sus PA con el fin de reducir el riesgo de encuentro con sus depredadores (Harrington et al. 2009). Tal es el caso de diferentes especies de conejos las cuales tienen un rol ecológico importante en los ecosistemas. Los conejos son reguladores de la vegetación; el contenido de sus letrinas es usado como alimento por diferentes invertebrados y sus madrigueras como refugio de otros animales, como lagartijas o roedores (Gálvez-Bravo et al. 2009). Forman parte de las redes tróficas, como base de la dieta de algunos carnívoros, son indicadores de la calidad del hábitat, además de ser utilizados como modelos de recurso ecológico (Chapman y Willner 1986). Estos animales presentan una actividad principalmente crepuscular, la cual se sugiere como una estrategia de las especies presa para evitar a los depredadores tanto diurnos como nocturnos (Halle y Stenseth 2012). Sin embargo, se destaca que este grupo de animales presenta variaciones en sus horarios de actividad a lo largo del día como respuesta a la abundancia de depredadores presentes en el sitio que habitan, lo que se traduce como el riesgo de depredación percibido (Monterroso et al. 2013).

Los conejos, ante depredadores nativos suelen presentar una asincronía en los picos de mayor actividad, tal es el caso con depredadores como los coyotes (*Canis latrans*), los cuales generalmente se encuentran activos a lo largo del día y frecuentemente presentan picos de actividad en horas crepusculares, sin embargo sus horarios de actividad pueden variar según el sitio que habitan (Cortés-Marcial y Briones-Salas 2014). Los conejos disminuyen su actividad cuando la de los coyotes aumenta, y viceversa (Arias del Razo et al. 2011). Así mismo, los conejos pueden ajustar su actividad incrementándola durante la noche o el día, evitando el

solapamiento con los períodos de mayor actividad crepuscular del depredador (Monterroso et al. 2014).

Sin embargo, ante la presencia de depredadores exóticos, si los conejos no la reconocen como una amenaza, podrían estar vulnerables a la depredación si son incapaces de ajustar su PA con el fin de evitar los horarios de mayor actividad de los nuevos depredadores (de Cassia Bianchi et al. 2020). Las especies exóticas o introducidas son aquellas que no son originarias del lugar donde se encuentran, y que han sido transportadas usualmente por un vector relacionado con actividades humanas (UICN 2023). Además la presencia de fauna exótica también puede impactar de forma negativa sobre las especies nativas cuando ocasionan su desplazamiento temporal, estos cambios en sus horarios de actividad derivan en alteraciones tanto a nivel de especie como de las redes tróficas y dinámicas ecológicas (Monroy-Vilchis et al. 2009).

Los perros (*Canis lupus familiaris*) son los cánidos más ampliamente distribuidos y abundantes en todo el mundo, además de ser una de las especies que mayor impacto generan como fauna exótica (Silva-Rodríguez y Sieving 2011). Tienden a competir con otros carnívoros cuando se sobreponen tanto sus patrones de actividad como los tipos de hábitat que utilizan (Monroy-Vilchis et al. 2009). Dependiendo el grado de independencia respecto a los humanos el PA de los perros puede variar, aquellos aún relacionados con las personas presentan actividad principalmente diurna, mientras que los perros totalmente independientes con el fin de maximizar sus posibilidades de caza y minimizar riesgos, al igual que la mayoría de los carnívoros, presentan una mayor actividad durante las horas crepusculares y nocturnas (Brickner 2002, Lenth et al. 2008).

Los conejos reconocen a los depredadores a través de una combinación de señales sensoriales por medio de los sentidos (vista, olfato, oído), respuestas innatas y aprendizaje por experiencia (Prada et al. 2018). Sin embargo, ante fauna exótica como los perros pueden no reconocerlos como una amenaza al ser un depredador novedoso. Por lo que su relación con los depredadores exóticos puede derivar en superposiciones temporales en los picos de mayor

actividad si los conejos no consiguen ajustar su PA con el fin de minimizar el riesgo de encuentro (Vanak y Gompper 2009). Por lo tanto, este estudio busca conocer los PA diarios de los conejos del género *Sylvilagus* ante la presencia de depredadores nativos (*Canis latrans*) y exóticos (*Canis lupus familiaris*) en el PNLM.

## 2. ANTECEDENTES

En los últimos años, el desarrollo de equipo como las fototampas, ha permitido el incremento del conocimiento científico de algunas especies de mamíferos (Rowcliffe et al. 2008). Actualmente las fototampas tienen una mayor disponibilidad por lo que se han convertido en una herramienta utilizada para el monitoreo e inventario de mamíferos debido a que presentan múltiples ventajas, tales como una alta fiabilidad sin ser invasiva, bajo costo, dinamismo en el monitoreo simultáneo de áreas por un mayor tiempo continuo con mínimo esfuerzo, rastreo ideal de especies crípticas y la detección de especies cuyas identificación se dificulta por otros métodos (Botello et al. 2007, Lyra et al. 2008). El uso de estas herramientas también resulta útil para evaluar PA y uso de hábitat, así como para realizar estimaciones de densidad. En el caso de estudios enfocados en los PA, el fototampeo es el principal método utilizado, ya que a partir de los registros obtenidos se puede clasificar el tipo de PA de cada especie reportada, además de obtener el valor de traslape temporal existente entre pares de especies con ayuda de algún paquete estadístico (Ávila-Nájera et al. 2016).

Los individuos del orden Lagomorpha han sido objeto de diversos estudios conductuales entre los que destacan sus PA. Tales patrones han sido comparados con los de otros grupos de mamíferos. Dentro del orden Lagomorpha se distinguen a las pikas (familia Ochotonidae) y a las liebres y conejos (familia Leporidae). Ambas familias se caracterizan por tener dos pares de dientes incisivos superiores, siendo el segundo par más pequeño. Los conejos y las liebres se caracterizan por presentar una hendidura en la mitad del labio superior. Las patas traseras son más largas que las delanteras y están adaptadas para la carrera. Tienen cinco dedos con garras; las orejas son más largas que anchas (asociadas con el control de temperatura); su oído y olfato están bien desarrollados y esto los ayuda a protegerse de los depredadores (Lorenzo y Ruíz 2013).

La familia Leporidae se conforma por 18 géneros y 54 especies, donde la mayoría de las especies (18 especies), pertenecen al género *Sylvilagus*. Este género se caracteriza por presentar un hueso interparietal (Meléndez y Meléndez 2022). Generalmente presenta un PA identificado como crepuscular con dos picos de mayor actividad, uno durante el amanecer y otro al atardecer. Este patrón ha sido interpretado como una adaptación para evitar el encuentro con depredadores nocturnos y diurnos (Monterroso et al. 2013). De igual forma se ha identificado la capacidad que tienen los conejos de modificar sus PA, aumentando sus actividades vitales durante la noche o el día, de acuerdo con los periodos de mayor actividad de sus depredadores en el sitio donde habitan (Bakker et al. 2005, Monterroso et al. 2014).

Una de las áreas donde habitan dos especies de lepóridos del género *Sylvilagus*: *S. cunicularius* y *S. floridanus*, es el Parque Nacional La Malinche (PNLM) que se localiza en los Estados de Tlaxcala y Puebla en las inmediaciones del volcán del mismo nombre, perteneciente a la Faja Volcánica Transmexicana. Es un Área Natural Protegida (ANP) que abarca alrededor de 46,112 ha. Su altitud va de los 2,500 a los 4,462 m. El PNLM es considerado como uno de los remanentes más importantes de bosques de coníferas y praderas de alta montaña en el centro del país; además, debido a su ubicación y derivado de diversos factores ecológicos, geográficos y climáticos es un área de alta importancia gracias al gran número especies endémicas que la habitan (INECC 2007). La importancia ecológica del parque radica no solo en su diversidad de flora y fauna, sino también en su papel como regulador hídrico en la región, por lo que esta zona provee servicios ambientales que lo identifican como un sitio prioritario para la conservación (CONANP 2010). Sin embargo, la alta presión antrópica y el deterioro de sus recursos forestales ha provocado consecuencias negativas en el mantenimiento de la conectividad y biodiversidad (SEMARNAT y CONANP 2013).

A pesar de contar con diferencias propias de cada especie, *Sylvilagus* spp. dentro del PNLM presenta características como presencia en zonas cubiertas por bosque de pino (*Pinus* spp.) y pastizales de *Muhlenbergia macroura* y *Stipa ichu*, siendo más abundantes en pastizales y en áreas donde exista una mezcla de pastizales y bosque de pino, con un ámbito hogareño máximo de alrededor de 3.6 ha (Vázquez et al. 2013). Se reproducen todo el año, especialmente

durante los meses de marzo a octubre (Rodríguez-Martínez 2015). Son solitarios y presentan actividad principalmente durante el amanecer y atardecer, sin embargo puede estar activos durante día y noche (Aranda 2015). De acuerdo con la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, Lorenzo y Lainer 2019) se les considera especies con la categoría de “Preocupación menor” respecto a su estado de conservación.

En el PNLM los principales depredadores de conejos son el coyote (*Canis latrans*) y el gato montés (*Lynx rufus*), además de que se ha registrado la presencia de perros como fauna exótica (Ruíz-Soberanes y Gómez-Álvarez 2010). Sin embargo en este trabajo no se incluyó al gato montés debido a que el área utilizada era mínima en comparación de su ámbito hogareño, además de una baja frecuencia de avistamientos registradas en el área (Flores-Morales et al. 2019).

El coyote, *Canis latrans*, es un cánido mediano generalista con alta capacidad de adaptación a diferentes tipos de hábitat incluyendo paisajes altamente perturbados (Marín-Sánchez et al. 2015). Cuando estos cánidos se encuentran en hábitats de bosque pueden hacer uso de áreas con vegetación arbustiva densa ya que este tipo de ambientes les permite acechar sigilosamente facilitando la cacería de sus principales presas como son lagomorfos y roedores (Bekoff y Wells 1986). Dentro del PNLM su PA se describe como principalmente nocturno (Castro 2018).

Alrededor del mundo, se han realizado diversos estudios referentes a los PA de fauna. Los que se han enfocado en la actividad de la fauna exótica también han explorado el impacto que tiene ésta en poblaciones nativas de áreas naturales. Por ejemplo, Monterroso et al. (2013) evaluaron los PA del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) y de algunos de sus depredadores en la Península Ibérica como el lince boreal (*Lynx lynx*) y el lince ibérico (*L. pardinus*). Los hallazgos reportados indicaron que *O. cuniculus* mostró actividad en horas del día de forma contraria a la principal actividad nocturna de los carnívoros. Reátiga (2015) determinó el efecto de los perros ferales sobre los mamíferos nativos del Parque Nacional Natural Chingaza, en Colombia, mediante la evaluación de abundancias relativas, el uso de sitios con diferentes tipos de cobertura de vegetación y PA de especies. A pesar de que no se encontró un efecto directo

del perro sobre los mamíferos registrados durante el estudio, el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) fue la especie con la que tuvo mayor superposición de actividad durante horas del día, además de compartir un mayor uso de sitios con el tipo de cobertura preferida por perros, por lo tanto el patrón de actividad de *C. l. familiaris* podría estar relacionado con la presencia del venado.

En México, Monroy et al. (2011) estudiaron la abundancia relativa y PA de mamíferos en la Sierra Nanchititla, perteneciente al Estado de México. Los autores encontraron que el PA de los animales está ligado tanto a factores externos como temperatura, humedad y disponibilidad de recursos, así como a los inherentes a los individuos, como sexo, edad y estatus reproductivo. Lira y Briones (2012) analizaron, la abundancia relativa y los PA de mamíferos medianos y grandes en la región de los Chimalapas, en Oaxaca. En dicho estudio se lograron registrar 20 especies, además de observar tres PA: nocturno-crepuscular, diurnos-nocturno-crepuscular y diurnos. *S. floridanus* mostró un PA nocturno. Andrade-Ponce et al. (2022) identificó una alta superposición en los PA de *S. floridanus* y dos depredadores, lince rojo (*L. rufus*) y zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en el municipio de San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca. Las tres especies mostraron actividad en el mismo periodo (20:00-05:00 h). Sin embargo, la mayoría de los registros de *S. floridanus* se obtuvieron durante el amanecer (05:00-06:00 h). Además analizaron la interacción espacial entre presa y depredadores identificando que la probabilidad de ocupación de un sitio por parte de las especies depredadoras es mayor en presencia de su presa que en su ausencia. Mediante el estudio de las interacciones ecológicas entre félidos y cánidos en el Parque Nacional Huatulco, Oaxaca; Silva (2021) identificó la modificación de los patrones y las áreas de actividad de las especies nativas debido a la presencia de perros ferales, por ejemplo, el coyote evitó zonas ocupadas por perros. Probablemente la omisión de dichas zonas es para eludir la competencia por alimento o para prevenir ser depredado por los perros ferales. Arias del Razo et al. (2011) estudiaron los PA de dos especies de lagomorfos (*Lepus californicus* y *Sylvilagus audobonii*) y del coyote en el desierto chihuahuense. A pesar de que las tres especies mostraron actividad principalmente crepuscular, se encontró una falta de sincronía en los mayores picos de actividad, por lo que las presas aumentan su actividad cuando la actividad del depredador disminuye.

En el PNLM, Estrada y Bravo (2021) identificaron mediante el uso de fototampas en un área conocida como “Cañada Grande”, una alta frecuencia de registros de perros. De un total de 1,590 registros obtenidos, el 58% fueron de perros, mientras que el 42% restante correspondió a especies nativas, entre las que se encontraba el coyote con 3% de los registros. Además, Castro (2018) describió un PA mayormente diurno por parte de los perros, mientras que el de los coyotes fue principalmente nocturno.

En este sentido, los conejos dentro del PNLM podrían mostrar un incremento en su actividad durante el descenso de la de coyotes y perros, con una mayor actividad durante horas crepusculares excluyéndose temporalmente de depredadores nocturnos y diurnos.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Dentro del PNLM, los conejos juegan un papel clave dentro de su hábitat. Son las presas de mayor tamaño para los principales depredadores que ahí habitan, como *Canis latrans* (Flores-Morales et al. 2019). Sin embargo, al interior del PNLM se ha identificado la introducción de fauna exótica como los perros, la cual puede desplazar temporalmente a la fauna nativa provocando consecuencias negativas sobre las especies desplazadas (Monroy-Vilchis et al. 2009). Aunque en otros estudios se sabe que algunos mamíferos evitan los sitios con presencia de perros (Lenth et al. 2008) y que existen distintos trabajos sobre patrones de actividad realizados con diferentes conejos los cuales a través de su historia evolutiva han interactuado con sus actuales depredadores nativos influyendo en el desarrollo de sus patrones de actividad, ante depredadores exóticos no se ha estudiado su respuesta. Las especies de conejos nativos del PNLM resultan un modelo ideal para analizar cómo los conejos despliegan sus patrones de actividad ante depredadores nativos y exóticos y advertir el riesgo que representa esta última para la fauna nativa.

#### **4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cómo es el patrón de actividad de conejos (*Sylvilagus* spp.) ante la presencia de depredadores nativos (*Canis latrans*) y exóticos (*C. lupus familiaris*) y su grado de superposición temporal en el Parque Nacional La Malinche?

#### **5. HIPÓTESIS**

El patrón de actividad de los conejos estará moldeado por la presencia de depredadores reflejándose en periodos de mayor actividad inversamente relacionados con los periodos de mayor actividad de depredadores nativos y exóticos.

#### **6. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el patrón de actividad de los conejos (*Sylvilagus* spp.) ante la presencia de coyotes (*C. latrans*) y perros (*C. l. familiaris*) en el Parque Nacional La Malinche.

##### **5.1 Objetivos particulares**

1. Describir la cobertura de vegetación de las estaciones de fototrampeo.
2. Describir los patrones de actividad de conejos, coyotes y perros.
3. Comparar el grado de superposición temporal entre patrones de actividad de conejos respecto al patrón de actividad de coyotes y perros.

## 7. MÉTODO

### 6.1 Área de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro del PNLM, ubicado entre los 19° 06' 30'' - 19° 20' 19'' de latitud Norte y 97° 55' 32'' - 98° 09' 55'' de longitud Oeste (Villers-Ruiz et al. 2006). Debido al gradiente altitudinal, el PNLM presenta variaciones en clima, temperatura, precipitación, vegetación, fauna, entre otros. De acuerdo con la clasificación de Köppen, esta ANP presenta climas que van desde el templado con una estación seca bien definida en invierno C(w) de manera dominante, clima semifrío y subhúmedo con lluvias en verano C(w2), hasta clima templado subhúmedo con invierno seco y verano templado Cwb, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 18° C hasta 0° C en las zonas más altas. La precipitación media anual se encuentra entre los 600 a 1000 mm (SEMARNAT y CONANP 2013).

Se caracteriza por una vegetación que incluye bosques de pino (*Pinus teocote*, *P. montezumae* y *P. hartwegii*), encino (*Quercus laurina* y *Q. crassifolia*), oyamel (*Abies religiosa*), así como asociaciones entre estos, pastizales naturales (*Stipa ichu*, *Festuca tolucensis* y *Muhlenbergia macroura*) y vegetación inducida (cultivos agrícolas) (SEMARNAT y CONANP 2013).

### 6.2 Trabajo de campo y obtención de registros fotográficos por fototrampeo

En el estado de Tlaxcala, al oeste del Municipio de Ixtenco, dentro del PNLM, se encuentra un área conocida como “Cañada Grande” (Fig. 1). Se establecieron 13 estaciones de fototrampeo en total, seleccionando sitios que presentaran pastizal amacollado del zacatón (*M. macroura*) ya que es el tipo de vegetación con el que principalmente se asocian las poblaciones de lagomorfos dentro del PNLM (Vázquez et al. 2013) y finalmente que presentaran evidencia de presencia de conejos (excretas). El muestreo inició en octubre de 2022, no obstante, el tiempo y periodo de funcionamiento de las cámaras en cada estación de fototrampeo tuvo variaciones, debido a que

algunas cámaras tuvieron que ser retiradas y/o reubicadas por cuestiones de inseguridad y por un incendio dentro del área de estudio (Tabla 1).

**Tabla 1** Estaciones de fototrampeo, geoposición y periodo durante el cual estuvieron activas.

<b>Estación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Periodo</b>
C1	19°14'01"N	97°58'34"O	Oct 2022 – May 2023
C2	19°13'57"N	97°58'31"O	Oct 2022 – May 2023
C3	19°13'54"N	97°58'26"O	Oct 2022 – May 2023
C4	19°14'00"N	97°58'24"O	Nov 2022 – May 2023
C5	19°13'55"N	97°58'19"O	Dic 2023
C6	19°14'37"N	97°59'30"O	Nov 2022 – Feb 2024
C7	19°14'35"N	97°59'13"O	Dic 2022 – Feb 2024
C8	19°14'42"N	97°59'19"O	Dic 2022 – Jun 2023
C9	19°14'44"N	97°59'35"O	Dic 2022 – Jun 2023
C10	19°14'28"N	97°58'38"O	Oct 2022 – Mar 2023
C11	19°14'31"N	97°58'45"O	Mar 2023 – Feb 2024
C12	19°14'40"N	97°58'59"O	Jun 2023 – Feb 2024
C13	19°14'41"N	97°59'42"O	Jul 2023 – Feb 2024

Las estaciones de fototrampeo se ubicaron en un gradiente altitudinal que varía desde 3,000 m (C5) hasta los 3,180 m (C12), separados con una distancia mínima (en línea recta) de 250 m y una distancia máxima de 850 m (Fig. 1).

## Estaciones de fototrampeo dentro del PNLM



**Figura 1.** Estaciones de fototrampeo.

El monitoreo se llevó a cabo desde el mes de octubre de 2022 hasta febrero de 2024. Las cámaras-trampas se sujetaron a árboles a una altura de 30 a 80 cm sobre el nivel del suelo. Los dispositivos se programaron para funcionar durante las 24 horas del día y tomar tres fotografías a intervalos de 5 segundos de diferencia entre una y otra toma, seguidos por un video con una duración de 30 segundos. Además, se programaron para que en cada fotografía se imprima la fecha y hora. Los registros obtenidos de la misma especie (*Sylvilagus* spp., *C. latrans* o *C. l. familiaris*) serán considerados registros fotográficos independientes (RFI) cuando transcurra al menos una hora entre ellos (O'Brien et al. 2003). Las cámaras-trampa fueron revisadas cada quince días para descargar las fotografías y cambiar baterías.

## 6.3 Análisis de datos

### 6.3.1 Descripción de la cobertura de vegetación de las estaciones de fototrampeo

#### 6.3.1.1 Porcentaje de cobertura vegetal por estación de fototrampeo

La probabilidad de detección de una especie por medio de fototampas está influida por el uso del sitio y este a su vez deriva de diferentes procesos y/o interacciones como el tipo de vegetación. Por lo tanto, se calculó el porcentaje de tipo de cobertura arbórea y de pastizal zacatonal (*Muhlenbergia macroura*) en un radio de 10 m alrededor de cada estación de fototrampeo. Dichos tipos de cobertura se seleccionaron debido a la preferencia de los conejos hacia áreas que los presenten (Vázquez et al. 2013). Los porcentajes de cobertura se obtuvieron a través del software *SamplePoint* el cual determina de forma manual la proporción de cobertura vegetal dentro de un cuadrante por medio de la elección y clasificación de píxeles en imágenes digitales (Booth et al. 2006).

#### 6.3.1.2 Indicador de uso de espacio

Se calculó un Indicador de uso de espacio (IUE) para las tres especies muestreadas (*Sylvilagus* spp., *C. latrans* y *C. l. familiaris*). La descripción se basó en el Índice de abundancia relativa utilizado por Mandujano y Pérez-Solano (2019) para determinar cuáles especies son “más o menos frecuentes” de registrar en la zona de estudio. Los datos se emplearon principalmente para los conejos debido a que el muestreo fue dirigido a dicha especie. En el caso de los depredadores sólo se interpreta como el grado en que usan los sitios y no se considera como abundancia debido a que el muestreo no pretendió obtener muestras independientes para dichos depredadores. Para el caso de los conejos se considera que ésta es una interpretación cualitativa y subjetiva, tomándose como una aproximación al indicar el número promedio de fotos por cada 100 días de muestreo, considerando el sesgo que representa el área utilizada para el estudio la cual es mínima con relación al ámbito hogareño de los carnívoros. Para calcularlo se dividió el total de RFI entre el número de días que estuvieron activas las cámaras donde se registró la especie, multiplicado por 100.

### 6.3.2 Patrones de actividad

Para determinar los PA, se empleó la hora impresa de los RFI de cada especie. Estos registros se asignaron a tres categorías: diurno (08:01 a 17:59 h), crepuscular (atardecer 18:00 a 20:00 h y amanecer 06:00 a 8:00 h) y nocturno (20:01 a 05:59 h) (Lucherini et al. 2009).

Para obtener los PA, así como los posteriores análisis estadísticos se trabajó mediante estadística circular con distintas paqueterías del software *R*. La estadística circular permite analizar variables que tienen una naturaleza cíclica, en este caso las horas del día, y para las que la estadística lineal no es apropiada. Por lo tanto, este tipo de análisis es una herramienta ideal para el estudio de los PA (Meredith y Ridout 2017, Mendoza 2020).

Para ilustrar los PA se utilizó la paquetería *Overlap*. Asimismo, se utilizó la paquetería *Circular* para realizar una prueba de Rayleigh con el fin de determinar la direccionalidad de los datos circulares, es decir si los RFI por especie están distribuidos uniformemente a lo largo del día o si están agrupados alrededor de un ángulo o lapso específico de tiempo (Marinho et al. 2018).

### 6.3.3 Superposición de los patrones de actividad

Para evaluar la superposición de los PA entre conejos y depredadores se utilizaron únicamente los RFI de conejo en estaciones donde también se registraron coyotes y perros respectivamente durante todo el muestreo. La representación de la superposición de los PA, así como su índice de superposición entre especies se trabajó con la paquetería *Overlap* en el software *R*, que opera bajo el supuesto de que los datos son recolectados por fototrampeo. El índice de PA ( $\Delta$ ) maneja valores de 0 a 1, donde 0 representa una completa segregación o evasión temporal entre las especies y el 1 representa un traslape total en los patrones de actividad diaria (Ridout y Linkie 2009). Para determinarlos se utilizaron las categorías propuestas por Monterroso et al. (2014) donde valores  $\geq 0.70$  se consideran altos, moderados cuando  $0.45 \leq \Delta \leq 0.7$  y bajos cuando  $\Delta < 0.45$ .

Por último, se realizó una prueba de Watson para dos muestras con el propósito de determinar si los PA comparados son significativamente diferentes. Al obtener un valor estadístico ( $U^2$ ) mayor al valor crítico determinado por las tablas específicas de la distribución de Watson, se procede a rechazar la hipótesis nula. Dicha prueba maneja como hipótesis nula ( $H_0$ ) que las dos muestras provienen de la misma distribución, es decir, no hay diferencia significativa en los patrones de actividad. Mientras que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) indicaría que estos patrones son diferentes (Mandujano y Pérez-Solano 2019).

Debe destacarse que cuando se comparan dos PA utilizando el índice de superposición y la prueba de Watson, es posible obtener resultados que pueden parecer contradictorios, por ejemplo, de acuerdo con un índice de superposición alto los PA parecerían similares, pero significativamente diferentes según la prueba de Watson. Esta aparente contradicción se debe a las diferencias en la naturaleza de las métricas y las pruebas utilizadas. El índice de superposición y la prueba de Watson evalúan diferentes aspectos de la relación entre dos PA. El índice de superposición mide la coincidencia global de actividad, mientras que la prueba de Watson es más sensible a las diferencias en la forma de las distribuciones como pueden ser variaciones en la dispersión, la posición de los picos, o la presencia de múltiples picos o valles (Batschelet 1981, Ridout y Linkie 2009).

Debido a que se observó una variación importante en los RFI de depredadores obtenidos por estaciones de fototrampeo, es decir en ambos depredadores la mayoría de sus registros se concentraron en un número pequeño de fototampas, se evaluó el PA de *Sylvilagus* spp. y carnívoros considerando solo las estaciones de fototrampeo que presentaron alta frecuencia de RFI de coyotes y perros. De la misma forma se evaluó la superposición de actividad entre los PA obtenidos.

## 8. RESULTADOS

### 7.1 Descripción de la cobertura de vegetación de las estaciones de fototrampeo

#### 7.1.1 Porcentaje de cobertura vegetal por estación de fototrampeo

Se encontró que la cobertura arbórea fue la más abundante en 12 de las 13 estaciones de fototrampeo, ocupando un promedio de 55% de cobertura vegetal por estación. Dicha vegetación tuvo porcentajes máximos del 69% (C5 y C7), mientras que en el sitio de menor porcentaje alcanzó el 19% (C11). De forma general se puede observar una vegetación relativamente homogénea.

**Tabla 2** Porcentaje de tipo de cobertura por estación de fototrampeo y registros fotográficos independientes (RFI) de *Sylvilagus* spp.

Estación	Esfuerzo (días)	% Arborea	% Zacatonal	RFI <i>Sylvilagus</i> spp.
C1	208	0.55	0.29	6
C2	208	0.47	0.44	13
C3	208	0.59	0.29	0
C4	193	0.61	0.33	16
C5	30	0.69	0.18	1
C6	476	0.56	0.42	<b>60</b>
C7	400	0.69	0.2	<b>33</b>
C8	102	0.48	0.14	<b>33</b>
C9	165	0.6	0.28	7
C10	151	0.4	0.05	19
C11	336	0.43	0.2	<b>141</b>
C12	252	0.63	0.35	2
C13	218	0.62	0.22	2

### 7.1.2 Indicador de uso de espacio

Se obtuvieron 509 RFI, de un total de 2947 noches-trampa, siendo *Sylvilagus* spp. el grupo más frecuente con 333 RFI y presencia en 12 de las 13 estaciones de fototrampeo. Por otro lado, *C. latrans* con 91 RFI tuvo presencia en 9 estaciones. Finalmente, *C. l. familiaris* con 85 RFI apareció en 10 estaciones. Algunos RFI de cada especie obtenidos durante el trabajo de campo aparecen en los Anexos 1-3.

Los valores de IUE obtenidos para *Sylvilagus* spp. presentaron una variación de 0.9 – 30.05, destacando la estaciones de fototrampeo C8 y C11 como aquellas con los valores más altos. *C. latrans* presentó valores de IUE de 0.4 – 9.8. Por otro lado el valor de IUE de *C. l. familiaris* tuvo una variación de 0.39 – 9.9 (Tabla 3).

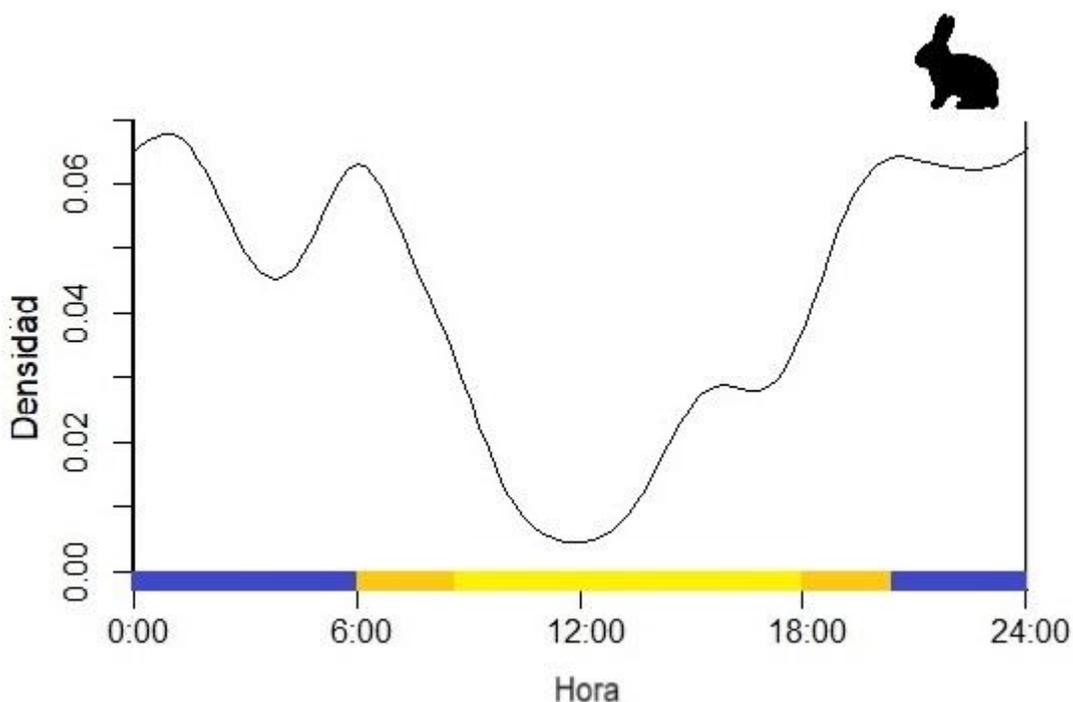
**Tabla 3** RFI por especie y estación de fototrampeo, así como número de días que estuvo activa cada estación de fototrampeo e IUE.

Estación	IUE <i>Sylvilagus</i> spp.	IUE <i>C. latrans</i>	IUE <i>C. l.</i> <i>familiaris</i>	Noches-trampa
C1	2.4	0.4	2.88	208
C2	5.2	0	0	208
C3	0	0.96	0	208
C4	5.6	9.8	1.03	193
C5	3.3	0	0	30
C6	<b>9.4</b>	3.9	0.4	476
C7	<b>7.2</b>	7	2.5	400
C8	<b>23.5</b>	2.9	2.9	102
C9	3.6	1.2	3.6	165
C10	4.6	0	9.9	151
C11	<b>30.05</b>	0.59	0.59	336
C12	0.7	1.9	0.39	252
C13	0.9	0	0.4	218

## 7.2 Patrones de actividad

### 7.2.1 Patrón de actividad general de *Sylvilagus* spp.

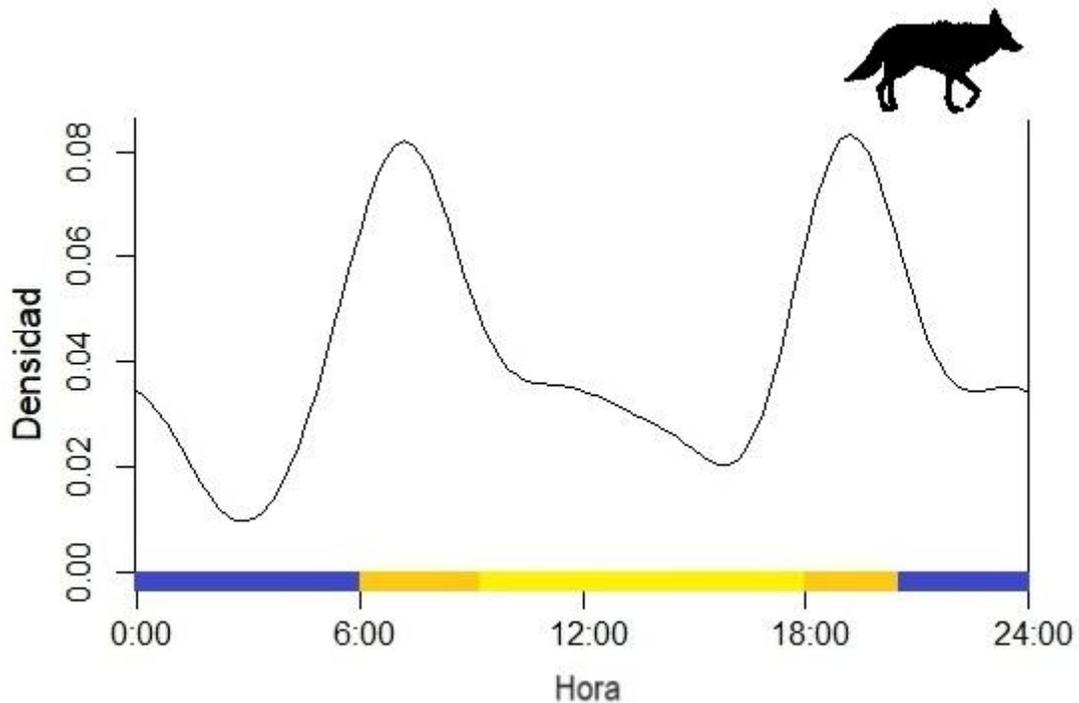
Al evaluar los sitios de muestreo donde *Sylvilagus* spp. fueron registradas ( $n = 12$  estaciones; Tabla 3), éstas exhibieron un PA general principalmente nocturno, mostrando un incremento en su actividad al atardecer y manteniéndola durante la noche, así como un descenso que comienza al amanecer y se mantiene en las horas de luz de día (Fig. 2). De acuerdo con la prueba de Rayleigh, existe una direccionalidad en los registros de conejos, que se refleja en la mayoría de RFI durante las horas nocturnas (58.9 %) (Rayleigh Test = 0.34;  $P = 0.0025$ ; Tabla 4).



**Figura 2.** Patrón de actividad general de *Sylvilagus* spp. Horas nocturnas corresponden al color azul, crepusculares al anaranjado y diurnas al amarillo ( $n = 12$  estaciones; 33 RFI).

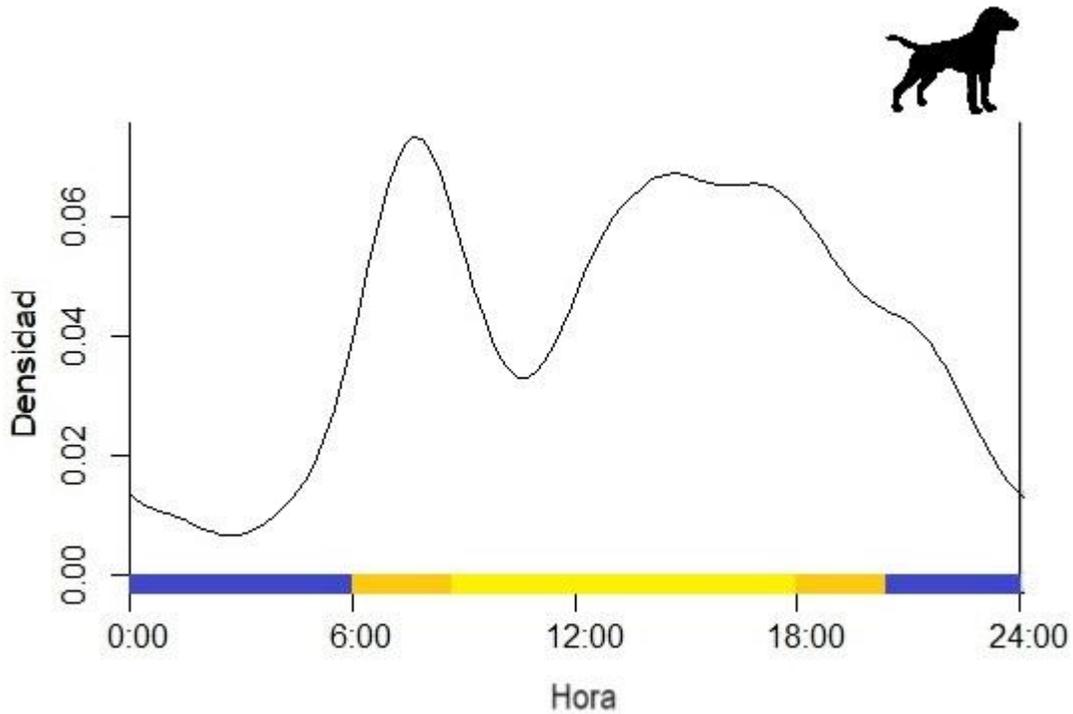
### 7.2.2 Patrón de actividad de depredadores

Durante el muestreo y en las estaciones donde se tuvo registro de *C. latrans* ( $n = 9$  estaciones; Tabla 3), se registró un PA crepuscular con marcados picos de actividad durante el amanecer y atardecer (Fig. 3). Sin embargo, la prueba de Rayleigh determinó que los registros de coyote muestran una distribución regular con dos picos de actividad (Rayleigh Test = 0.034;  $P = 0.896$ ; Tabla 4) concentrando la mayor cantidad de RFI durante las horas crepusculares (48.3 %).



**Figura 3.** Patrón de actividad general de *C. latrans* ( $n = 9$  estaciones; 91 RFI).

Por último, de forma general, en las estaciones donde se tuvo registro de *C. l. familiaris* (n = 10 estaciones; Tabla 3) se observó un PA general principalmente diurno con un pico de actividad al amanecer (Fig. 4). De acuerdo con la prueba de Rayleigh los registros de perros no se distribuyen de manera uniforme (Rayleigh Test = 0.31;  $P = 0.0003$ ; Tabla 4), ubicándose la mayoría de sus RFI durante las horas diurnas (55.2 %).



**Figura 4.** PA general de *C. l. familiaris* (n = 10 estaciones; 85 RFI).

**Tabla 4.** Registros fotográficos independientes (RFI) y porcentajes de clasificación y valores de prueba de Rayleigh de patrón de actividad por especie.

Especie	RFI	Nocturno	%	Diurno	%	Crepuscular	%	RayleighTest
<i>Sylvilagus</i> spp.	333	195	<b>58.9</b>	60	<b>18.1</b>	76	<b>22.9</b>	<b>0.34; <math>P = 0.002</math></b>
<i>C. latrans</i>	91	23	<b>25.2</b>	24	<b>26.3</b>	44	<b>48.3</b>	<b>0.034; <math>P = 0.89</math></b>
<i>C. l. familiaris</i>	85	16	<b>18.8</b>	47	<b>55.2</b>	22	<b>25.8</b>	<b>0.31; <math>P = 0.0003</math></b>

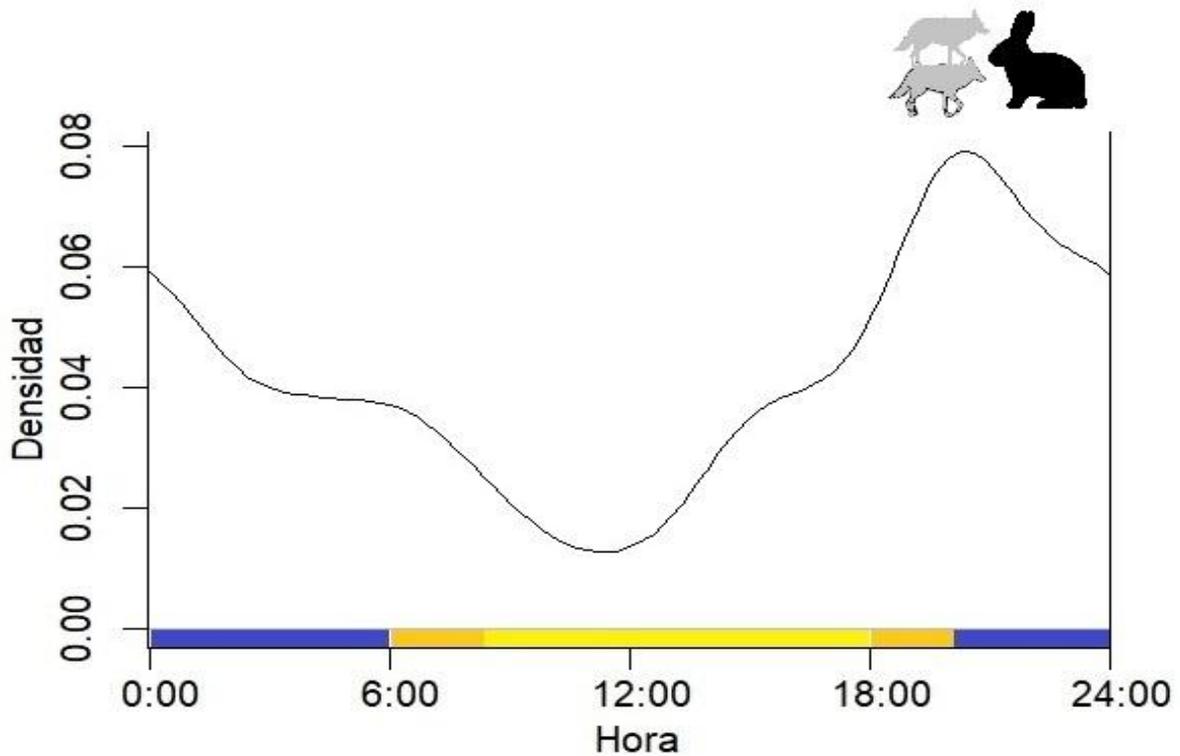
### 7.2.3 Patrón de actividad de *Sylvilagus* spp. en estaciones con alta frecuencia de RFI de depredadores

Se identificaron 3 estaciones de fototrampeo (C4, C6 y C7) con alta frecuencia de RFI de coyotes. En dichas cámaras se contabilizó un total de 73 registros, representando alrededor del 80% de los registros totales de coyote durante todo el muestreo. De igual forma se consideraron 3 estaciones de fototrampeo (C7, C9 Y C10) como alta frecuencia de RFI de perros, las cuales equivalen al 78% de registros de perro durante todo el muestreo con 67 RFI (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estaciones de fototrampeo utilizadas para la obtención de PA de *Sylvilagus* spp. en sitios con alta frecuencia de registros de *C. latrans* y *C. l. familiaris*, así como su número de RFI y porcentaje que representa de los RFI totales.

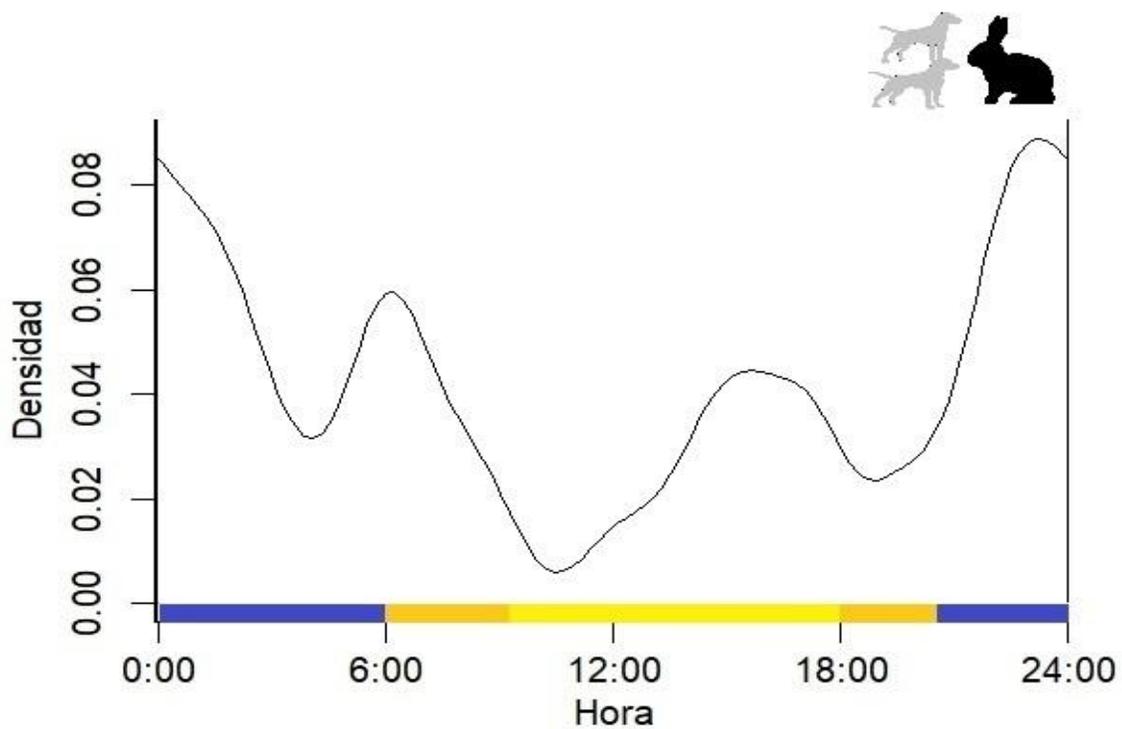
	Estaciones	RFI	% muestreo total	RFI totales
Alta frecuencia <i>C. latrans</i>	C4, C6, C7	73	80	91
Alta frecuencia <i>C. l. familiaris</i>	C7, C9, C10	67	78	85

En estaciones con alta frecuencia de RFI de coyotes, *Sylvilagus* spp. mostró un PA nocturno con un marcado pico de actividad durante las primeras horas nocturnas, descendiendo gradualmente durante la noche y el amanecer y manteniéndose baja durante el día (Fig. 5). Para obtener este PA se utilizaron 109 RFI de conejo (Tabla 6). De acuerdo con la prueba de Rayleigh los registros de conejos no se distribuyen de manera uniforme (Rayleigh Test = 0.32;  $P = 0.0003$ ) ubicándose la mayoría de sus RFI durante las horas nocturnas (55.2 %).



**Figura 5.** PA de *Sylvilagus* spp. en estaciones de fototrampeo con alta frecuencia de RFI de coyotes (n = 3 estaciones; 109 RFI).

Por otro lado, en estaciones con alta frecuencia de registros de perros, *Sylvilagus* spp. mostró un PA principalmente nocturno con un marcado pico de actividad durante las primeras horas de la noche. Además se observaron dos picos menores, uno durante el amanecer y otro durante las últimas horas de luz de día (Fig. 6). Para obtener este PA se utilizaron 59 RFI de conejo (Tabla 6). De acuerdo con la prueba de Rayleigh los registros de conejos no se distribuyen de manera uniforme (Rayleigh Test = 0.29;  $P = 0.004$ ) ubicándose la mayoría de sus RFI durante las horas nocturnas (61 %).



**Figura 6.** PA de *Sylvilagus* spp. en estaciones de fototrampeo con alta frecuencia de RFI de perros (n = 3 estaciones; 65 RFI).

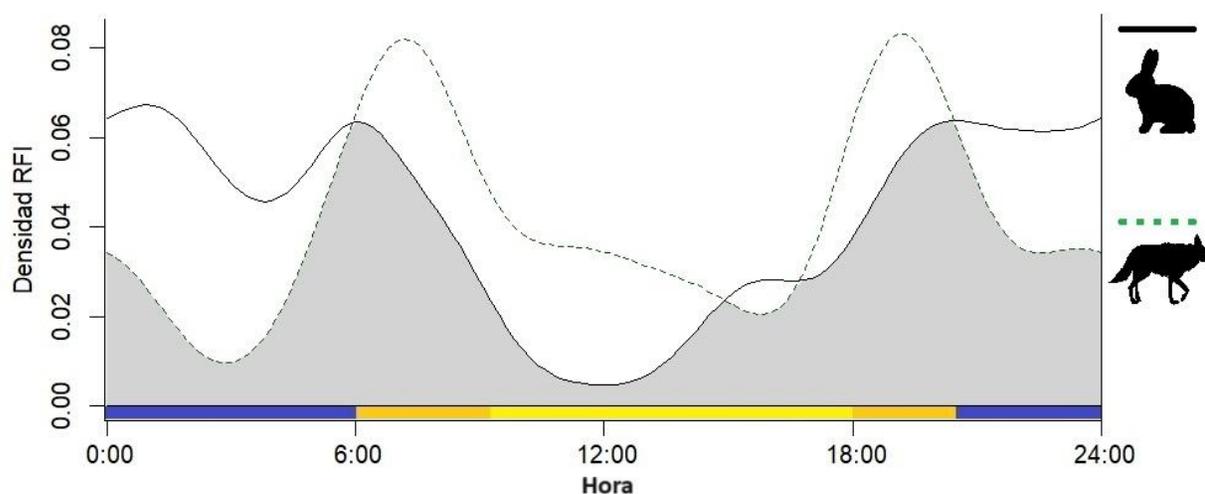
**Tabla 6.** RFI de *Sylvilagus* spp. en estaciones con alta frecuencia de registro de *C. latrans* y *C. l. familiaris*, porcentajes de clasificación y valores de prueba de Rayleigh de PA.

	<b>RFI totales</b>	<b>RFI Nocturnos</b>	<b>%</b>	<b>RFI Diurnos</b>	<b>%</b>	<b>RFI Crepusculares</b>	<b>%</b>	<b>RayleighTest</b>
<i>Alta frecuencia C. latrans</i>	109	60	<b>55.04</b>	28	<b>25.6</b>	20	<b>18.3</b>	<b>0.32; P = 0.0003</b>
<i>Alta frecuencia C. l. familiaris</i>	59	36	<b>61</b>	16	<b>27.1</b>	7	<b>11.8</b>	<b>0.29; P = 0.004</b>

## 7.3 Superposición de los patrones de actividad

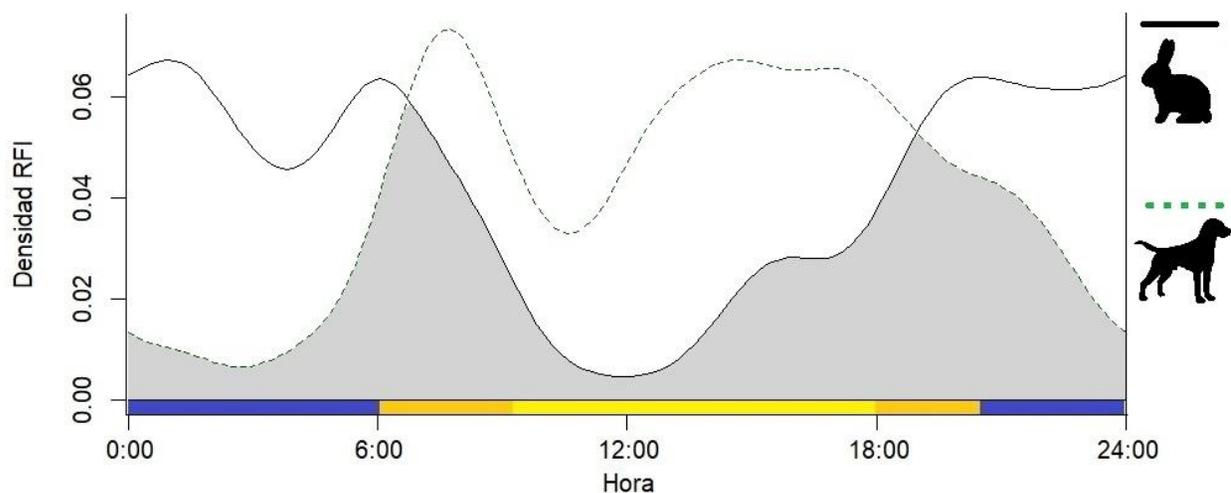
### 7.3.1 Superposición de los patrones de actividad de conejos y depredadores

Para conocer la superposición de la actividad de conejos con respecto a coyotes, únicamente se utilizaron los RFI de conejo en estaciones donde también se registró a *C. latrans* durante todo el muestreo (n = 8 estaciones; Tabla 3). Al comparar la actividad de conejo y coyote se obtuvo un grado de superposición alto con un valor de  $\Delta = 0.71$  (Fig. 7). De acuerdo con la prueba de Watson (nivel de significancia  $P = 0.05$ ; valor crítico = 0.187) se obtuvo un  $U^2 = 0.79$  y un valor  $P = 5.052 \times 10^{-7}$ , señalando diferencias significativas entre sus PA (Tabla 7).



**Figura 7.** Superposición del PA de *Sylvilagus* spp. (línea continua) y *C. latrans* (línea punteada) (n = 8 estaciones).

Mientras que para obtener la superposición temporal entre conejos y perros se utilizaron los RFI de conejo en estaciones donde también se registró a *C. l. familiaris* (n = 10 estaciones; Tabla 3). A diferencia del coyote, el índice de superposición de actividad entre conejos y perros fue menor con un valor de  $\Delta = 0.59$ , clasificándose como un grado de superposición moderado (Fig. 8). De igual forma, al comparar la actividad de conejos y perros (nivel de significancia  $P = 0.05$ ; valor crítico = 0.187) se obtuvo un  $U^2 = 1.61$  y un valor  $P = 6.61 \times 10^{-13}$ , indicando que existen diferencias entre los PA de ambas especies (Tabla 7).



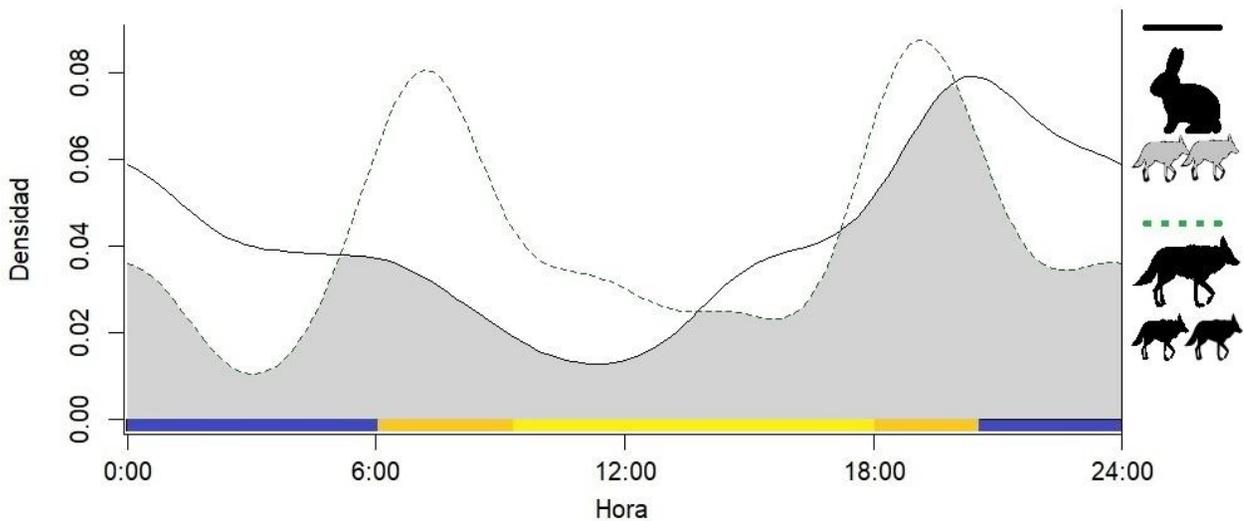
**Figura 8.** Superposición del PA de *Sylvilagus* spp. (línea continua) y *C. l. familiaris* (línea punteada) (n = 10 estaciones).

**Tabla 7.** Índices de superposición temporal entre *Sylvilagus* spp. con *C. latrans* y *C. l. familiaris* y valores de prueba de Watson.

Especies	$\Delta$	WatsonTest
<i>Sylvilagus</i> spp. – <i>C. latrans</i>	$\Delta = 0.71$	$U^2 = 0.79$ $P = 5.052 \times 10^{-7}$
<i>Sylvilagus</i> spp. – <i>C. l. familiaris</i>	$\Delta = 0.59$	$U^2 = 1.61$ $P = 6.61 \times 10^{-13}$

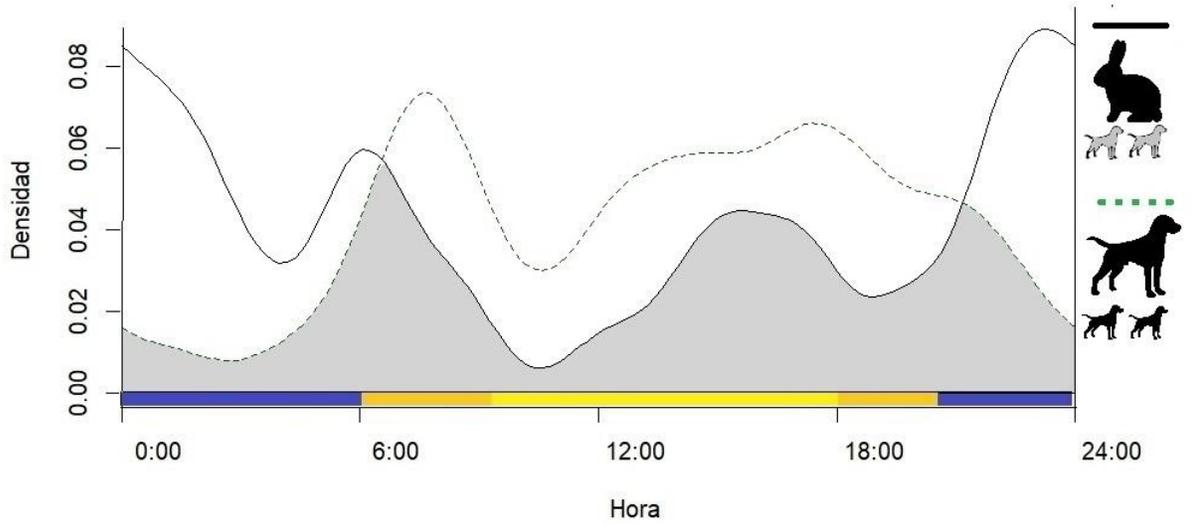
### 7.3.2 Superposición de los patrones de actividad en estaciones con alta frecuencia de RFI de depredadores

Al evaluar la superposición de los PA de conejos y coyotes en estaciones de alta frecuencia de RFI de coyotes ( $n = 3$  estaciones) se obtuvo un índice de superposición alto con un valor de  $\Delta = 0.73$  (Fig. 9). Sin embargo, de acuerdo con la prueba de Watson (nivel de significancia  $P = 0.05$ ; valor crítico = 0.187) los PA presentan diferencias significativas obteniéndose un  $U^2 = 0.51$  y un valor  $P = 0.0001$  (Tabla 8).



**Figura 9.** Superposición del PA de *Sylvilagus* spp. (línea continua) y *C. latrans* (línea punteada) en estaciones con alta frecuencia de RFI de coyotes ( $n = 3$ ).

Así mismo al comparar el PA de conejos y perros en sitios de alta frecuencia de RFI de perros, el índice de superposición obtenido fue moderado con un valor de  $\Delta = 0.62$  (Fig. 10). Con diferencias significativas según la prueba de Watson (nivel de significancia  $P = 0.05$ ; valor crítico = 0.187), se obtuvo un  $U^2 = 1.18$  y un valor  $P = 2.39 \times 10^{-10}$  (Tabla 8).



**Figura 10.** Superposición del PA de *Sylvilagus* spp. (línea continua) y *C. l. familiaris* (línea punteada) en estaciones con alta frecuencia de RFI de perros (n = 3).

**Tabla 8.** Índices de superposición temporal entre *Sylvilagus* spp. con *C. latrans* y *C. l. familiaris* en estaciones con alta frecuencia de RFI de depredadores y valores de prueba de Watson.

Especies	$\Delta$	WatsonTest
<i>Sylvilagus</i> spp. – <i>C. latrans</i>	$\Delta = 0.71$	$U^2 = 0.79$ $P = 5.052 \times 10^{-7}$
<i>Sylvilagus</i> spp. – <i>C. l. familiaris</i>	$\Delta = 0.59$	$U^2 = 1.61$ $P = 6.61 \times 10^{-13}$

## 9. DISCUSIÓN

El análisis de los patrones de actividad diaria constituye un marco apropiado para comprender aspectos ecológicos de los mamíferos y evaluar el impacto generado por las actividades humanas, como es el caso de la introducción de fauna exótica en áreas naturales. En este estudio se identificó el PA de *Sylvilagus* spp. ante la presencia de depredadores nativos y exóticos, los resultados obtenidos permiten reconocer e interpretar el desarrollo del PA de los conejos en el PNLM.

### 8.1. Cobertura vegetal en relación con la frecuencia de registros de conejos

*Sylvilagus* spp. fue el grupo con mayor frecuencia de RFI durante el estudio haciéndose presente en 12 de 13 estaciones de fototrampeo, lo cual respalda la selección de puntos donde se colocaron las fototrampas. Dicha selección fue basada en buscar el principal tipo de vegetación al que se asocian las poblaciones de conejos (Vázquez et al. 2013). La distancia entre estaciones de fototrampeo se hizo considerando que el área ocupada de los conejos es más pequeña en comparación con el ámbito hogareño de los carnívoros (Gómez-Ortíz et al. 2019).

Se presentó una variación en el número de RFI de conejos por estación de fototrampeo. Las estaciones de fototrampeo donde se obtuvo el mayor número de RFI de conejo (>30 RFI) presentaron una cobertura vegetal principalmente dominada por una combinación de cobertura arbórea y de pastizal (*Muhlenbergia macroura*), coincidiendo con lo reportado por Vázquez et al. (2013) y Aranda (2015) como el tipo de vegetación preferida por los lagomorfos. La combinación de árboles y pastizales proporciona una variedad de elementos que los conejos aprovechan para su alimentación como son ramas tiernas, hojas y cortezas, refugio contra depredadores terrestres y aéreos, así como contra condiciones climáticas adversas, construcción de madrigueras y áreas seguras para la crianza, además de un paisaje heterogéneo que facilita el movimiento entre diferentes áreas promoviendo la conectividad y la diversidad genética de poblaciones (Delibes-Mateos et al. 2007).

Aunque no se logró hacer un análisis estadístico debido al bajo número de estaciones de muestreo, aparentemente no existe una relación respecto a la frecuencia de RFI de conejos entre los sitios donde aparecen los dos tipos de depredadores sin importar su frecuencia de RFI. Existen sitios donde el número de RFI de conejos en sitios con los dos tipos de depredadores (tanto nativos como exóticos) fue similar. Dicha baja variación podría deberse a características propias del sitio como son el tipo de vegetación, ya que también puede ser utilizado por depredadores permitiéndoles acercarse de manera sigilosa a sus presas (Bekoff y Wells 1986), además algunas estaciones de fototrampeo se ubicaron cerca de caminos y veredas que frecuentemente pueden ser utilizados por depredadores para su desplazamiento (Gehrt y Riley 2010). De igual forma se deben considerar sesgos propios de un monitoreo por fototrampeo como la detectabilidad imperfecta, es decir cuando una especie que se encuentra en el sitio de monitoreo no es detectada por razones a diferentes escalas como puede ser el rango de detección del modelo de fototrampa utilizado, así como la probabilidad de que un individuo transite por el área de detección de la estación de fototrampeo resultado del uso espacial y/o la abundancia de la especie, por lo que se determina de forma errónea su ausencia (Andrade-Ponce et al. 2021).

## **8.2 Patrón de actividad de *Sylvilagus spp.***

Dentro del PNLM, *Sylvilagus spp.* mostró actividad principalmente durante la noche y horas crepusculares. Esto concuerda con el patrón general descrito para este grupo y otros lagomorfos en diferentes sitios y tipos de hábitat (Aranda 2015, Lorenzo et al. 2018, Nielsen y Berkman 2018). De acuerdo con lo mencionado por Monterroso et al. (2013), este tipo de PA con un horario amplio podría deberse a la cantidad y abundancia de depredadores que habitan en el sitio, así como a sus principales horarios de actividad. Ya que sitios con una mayor cantidad de especies depredadoras ejercen una mayor amenaza sobre los conejos por lo que su horario de actividad se reduce e intensifica durante horarios que supondrían un menor riesgo de ser depredados. En el PNLM la actividad de sus principales depredadores nativos, crepuscular del coyote y catemeral del gato montés (Castro 2018), así como diurna de los perros, al igual que la baja abundancia de depredadores nativos derivado de la competencia interespecífica y la sensibilidad respecto a perturbaciones humanas (Flores-Morales et al. 2019), estarían ejerciendo

una presión que permite que el horario de actividad de los conejos no esté tan restringido y se extienda durante la noche evitando los horarios de principal actividad de los depredadores.

El PA de *Sylvilagus* spp. en estaciones con alta frecuencia de RFI de coyotes resultó similar al general, principalmente nocturno, sin embargo a diferencia de su PA general se puede observar solamente un pico de actividad durante el final del atardecer y el inicio de la noche, omitiendo el pico de actividad al amanecer. Después del punto máximo de actividad comienza un marcado descenso que se extiende toda la noche hasta llegar a los lapsos de menor actividad durante el día. El descenso en la actividad durante la noche indica una actividad restringida a comparación del PA general, por lo que los conejos estarían disminuyendo su actividad en sitios donde hay una mayor presencia de coyotes con el fin de reducir el riesgo de encuentro con sus depredadores (Harrington et al. 2009, Monterroso et al. 2013).

En estaciones con alta frecuencia de RFI de perros, a pesar de que *Sylvilagus* spp. continuó con un PA principalmente nocturno, se pueden identificar 3 picos de actividad, un pico de actividad durante el inicio de la noche y dos menores al atardecer y durante el día. Estas variaciones pueden deberse al número de RFI empleados para su análisis (59), los cuales representan alrededor del 17% de RFI totales de conejos obtenidos durante el estudio. El marcado descenso de actividad durante el fin del amanecer e inicio de horas de luz de día puede deberse al inicio de actividad de los perros relacionado con los periodos de mayor actividad de los humanos (Brickner 2002).

### **8.3 Patrones de actividad de depredadores**

A pesar de que el PA general de *C. latrans* fue diferente a lo reportado anteriormente dentro del PNLM por Castro (2018), los mayores picos de actividad ocurren durante las horas del amanecer y atardecer. Estas diferencias pueden atribuirse a la cantidad de estaciones de fototrampeo utilizadas, así como su distribución y las características de cada una. Flores-Morales et al. (2019) identificaron diferencias en el PA del coyote dentro del PNLM de acuerdo con diferentes tipos de perturbación identificados en los sitios de fototrampeo utilizados en su estudio.

Respecto a *C. l. familiaris* presentó un PA general diurno similar a lo reportado anteriormente en la zona (Castro 2018, Estrada y Bravo 2021). Este horario de actividad es resultado de su relación con la actividad humana. Brickner (2002) y Lenth et al. (2008) mencionan diferentes grados de feralidad relacionados principalmente con el grado de independencia de los perros respecto a los humanos, influyendo en el establecimiento de los horarios de actividad de los perros. Durante el monitoreo en diferentes ocasiones fueron fotografiadas personas acompañadas de perros.

#### **8.4 Superposición de los patrones de actividad**

Conejos y coyotes mostraron un grado de superposición temporal alto tanto en sus PA generales y en estaciones con alta frecuencia de RFI de coyotes, sin embargo en ambos casos la prueba de Watson señala diferencias significativas. Ridout y Linkie (2009) destacan la validez de esta aparente contradicción resultado del grado de precisión y generalidad con el que evalúan la superposición temporal.

A pesar de que en los PA de conejos y coyotes se observan picos de actividad alrededor de las horas crepusculares, existen diferencias en el inicio del incremento en la actividad de ambos grupos. Esta falta de sincronización se explica como una estrategia antidepredatoria (Monterroso et al. 2013). Así mismo coincide con el trabajo de Arias-Del Razo et al. (2011) en donde describieron una falta de sincronía en los patrones de actividad y en los picos de actividad matutinos de coyotes y el conejo del desierto (*Sylvilagus audubonii*) en el desierto de Chihuahua.

En el caso de conejos y perros, el grado de superposición temporal fue moderado de forma general como en estaciones con alta frecuencia de RFI de perros. Esta superposición temporal menor se debe a la actividad diurna por parte de los perros relacionada con la actividad humana (Lenth et al. 2008, Estrada y Bravo 2021). De la misma forma existe una falta de sincronización en los picos de mayor actividad.

De acuerdo con los valores del índice de superposición temporal obtenidos, los conejos muestran una mayor exclusión temporal con perros que con coyotes. El incremento de la actividad de los conejos se ve asociada al descenso de la actividad de depredadores y viceversa, lo que concuerda con lo presentado en otros estudios realizados con lagomorfos, así como dentro del género *Sylvilagus*, como una estrategia que tiene como fin reducir el riesgo de depredación (Arias-Del Razo et al. 2011, Descalzo et al. 2021).

La superposición temporal entre conejos y depredadores obtuvo un valor de  $\Delta$  mayor en sitios con alta frecuencia de RFI de coyotes y perros, debido a características propias de las interacciones depredador-presa como una “carrera temporal” de respuesta conductual, donde la presa incrementa su actividad cuando la del depredador disminuye, mientras que los depredadores intentan empalmar sus periodos de actividad con los de sus presas (Sih 1992).

## 10. CONCLUSIONES

1. La preferencia de hábitat de los conejos se refleja a través de la mayor frecuencia de RFI obtenidos de entre las 3 especies evaluadas. Además los sitios con mayor número de registros de actividad (>30 RFI) estuvieron asociados con una combinación de cobertura arbórea y pastizal.
2. *Sylvilagus* spp. mostró un PA predominantemente nocturno y crepuscular en el PNLM, que refleja una estrategia adaptativa para minimizar el riesgo de depredación, en contraposición con las horas de mayor actividad por parte de carnívoros nativos y exóticos (crepusculares y diurnos).
3. Los picos de mayor actividad de conejos se relacionan con el descenso de la actividad de depredadores y viceversa.
4. *Sylvilagus* spp. presenta un mayor descenso de actividad en sitios con mayor frecuencia de RFI de coyotes respecto a sitios con mayor frecuencia de RFI de perros.
5. En sitios donde existe una mayor presencia de depredadores, la actividad de los conejos disminuye.
6. Los conejos mostraron una mayor superposición de actividad con coyotes y una mayor exclusión temporal con perros, asociada a la relación con la actividad humana por parte de perros.
7. La presencia de perros en el PNLM estaría ejerciendo una menor presión en conejos, comparada con los depredadores nativos.

## 11. PERSPECTIVAS

Este estudio aporta una comprensión significativa sobre los PA de *Sylvilagus* spp. en el PNLM y su relación con factores ambientales, depredadores nativos y fauna exótica. Sin embargo, aún quedan áreas y elementos propios del entorno que podrían ser explorados en futuras investigaciones para profundizar en las dinámicas ecológicas de estas especies y su ambiente.

Un monitoreo a largo plazo permitiría identificar un mayor número de variaciones en los PA de *Sylvilagus* spp., lo que permitiría determinar cómo las fluctuaciones climáticas, la disponibilidad de recursos y la presión de depredación influyen en su comportamiento.

Debido a que los resultados indican una mayor exclusión temporal entre los conejos y los perros, sería relevante analizar si existe una variación derivada de los diferentes grados de feralidad de los perros y como afectan el comportamiento de *Sylvilagus* spp.

Aunque se identificó una preferencia por sitios con cobertura arbórea y de pastizal, futuros estudios podrían evaluar cómo los cambios en la estructura y composición de la vegetación, causados por perturbaciones humanas o procesos naturales, alteran los PA y la distribución de *Sylvilagus* spp.

Explorar posibles diferencias en las respuestas conductuales entre poblaciones locales de *Sylvilagus* spp. en el PNLM así como diferenciar entre las dos especies de conejo que habitan el área.

Analizar las interacciones entre *Sylvilagus* spp. y especies competidoras y otros depredadores podría aportar un enfoque integral para comprender el papel ecológico de esta especie en el ecosistema del PNLM.

En conjunto, estas perspectivas pueden fortalecer el entendimiento de las relaciones ecológicas en el PNLN, mejorando estrategias de conservación que protejan no solo a *Sylvilagus* spp., sino también a otros grupos ante la creciente presión de actividades humanas y la introducción de fauna exótica.

## 12. REFERENCIAS

- Alkon PU, Saltz D. 1988. Influence of season and moonlight on temporal activity patterns of Indian crested porcupines (*Hystrix indica*). *Journal of Mammalogy* 69, 71-80.
- Andrade-Ponce G, Cepeda-Duque J, Mandujano S, Velásquez K, Gómez-Valencia B, Lizcano D. 2021. Modelos de ocupación para datos de cámaras trampa: de los conceptos a la interpretación. *Mammalogy Notes*, 7(1).
- Andrade-Ponce G, Mandujano S, Dattilo W, Farías V, Jiménez J, Velasquez K, Zavaleta A. 2022. A framework to interpret co-occurrence patterns from camera trap data: The case of the gray fox, the bobcat, and the eastern cottontail rabbit in a tropical dry habitat. *Journal of Zoology*.
- Aranda J. 2015. Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. CONABIO.
- Arias-Del Razo I, Hernández L, Laundré JW, Myers O. 2011. Do predator and prey foraging activity patterns match? A study of coyotes (*Canis latrans*), and lagomorphs (*Lepus californicus* and *Sylvilagus audobonii*). *Journal of Arid Environments*, 75, 112-118.
- Ávila-Nájera DM, Chávez C, Lazcano-Barrero MA, Mendoza GA, Perez-Elizalde S. 2016. Traslapo en patrones de actividad entre grandes felinos y sus principales presas en el norte de Quintana Roo, México. *Therya*, 7(3), 439-448.
- Bakker ES, Reiffers RC, Olf H, Gleichman JM. 2005. Experimental manipulation of predation risk and food quality: effect on grazing behaviour in a central-place foraging herbivore. *Oecologia*, 146, 157- 167.
- Batschelet E. 1981. *Circular Statistics in Biology*. Academic Press.
- Begon M, Townsend CR, Harper JL. 2006. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. Blackwell Publishing.

- Bekoff M, Wells MC. 1986. Social Ecology and behavior of coyotes. *Advances in the Study of Behavior*, 16, 251-338.
- Blake JG, Mosquera D, Loiselle BA, Swing K, Guerra J, Romo D. 2012. Temporal activity patterns of terrestrial mammals in lowland rainforest of Eastern Ecuador. *Ecotropica*, 18, 137-146.
- Bloch G, Barnes BM, Gerkema MP, Helm B. 2013. Animal activity around the clock with no overt circadian rhythms: patterns, mechanisms and adaptive value. *Proceedings of the Royal Society*. 280, 1-9.
- Booth DT, Cox SE, Berryman RD. 2006. Point sampling digital imagery with 'SamplePoint.' *Environmental Monitoring and Assessment*. 123: 97-108.
- Botello F, Monroy G, Illoldi P, Trujillo I, Sánchez V. 2007. Sistematización de imágenes obtenidas por fototrampeo: una propuesta de ficha. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78, 207-209.
- Brickner I. 2002. The impact of domestic dogs (*Canis familiaris*) on wildlife welfare and conservation: A literature review, with a situation summary from Israel. University of Harare, Zimbabwe.
- Carothers JH, Jaksic FM. 1984. Time as a niche difference: the role of interference competition. *Oikos*, 42, 403-406.
- Castro H. 2018. Patrones de actividad diaria y abundancia de los mesocarnívoros asociados a la presencia de estanques artificiales en La Malinche, Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Chapman J, Willmer G. 1986. Lagomorfos. Inventory and monitoring of wildlife habitat.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2010. Programa de Manejo Parque Nacional La Malinche.

- Cortés-Marcial M, Briones-Salas M. 2014. Diversidad, abundancia relativa y patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en una selva seca del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 1433-1448.
- Delibes-Mateos M, Redpath SM, Angulo E, Ferreras P, Villafuerte R. 2007. Rabbits as a keystone Species in southern Europe. *Biological Conservation* 137(1), 149-156.
- Estrada A, Bravo I. 2021. Invasion of Domestic Dog (*Canis familiaris* L.) and Its Effect on Wildlife in Temperate Forests from La Malinche National Park (LMNP), in Central Mexico. *Invasive Alien Species* 12, 257–269.
- de Cassia Bianchi R, Olifiers N, Lutke L, Abonizio J, Silva C, Fornitano L, Lamberti G, Yan M, Rodrigues K, Alves R, D’Andrea P, Gompper M. 2020. Dog activity in protected areas: behavioral effects on mesocarnivores and the impacts of a top predator. *European Journal of Wildlife Research* 66:36.
- Descalzo E, Tobajas J, Villafuerte R, Mateo R, Ferreras P. 2021. Plasticity in daily activity patterns of a key prey Species in the Iberian Peninsula to reduce predation risk. *Wildlife Research*, 48, 481-490.
- Flores-Morales M, Vázquez J, Bautista A, Rodríguez-Martínez L, Monroy-Vilchis O. 2019. Response of two sympatric carnivores to human disturbances of their habitat: the bobcat and coyote. *Mammal Research*, 64, 53–62.
- Gálvez-Bravo L, Belliure J, Rebollo S. 2009. European rabbits as ecosystem engineers: warrens increase lizard density and diversity. *Biodiversity and Conservation*, 18, 869-885.
- Gehrt SD, Riley SPD. 2010. Coyotes (*Canis latrans*) in urban landscapes: A review of ecology and management. *Urban Ecosystems*, 13(4), 371-387.
- Gómez-Ortíz Y, Monroy-Vilchis O, Castro-Arellano I. 2019. Temporal coexistence in carnivore assemblage from central México: temporal-domain dependence. *Mammalian Research*, 64, 333-342.

- Guadarrama-Ortiz P, Ramírez-Aguilar R, Madrid-Sánchez A, Castillo-Rangel C, Carrasco-Alcántara D, Aguilar-Roblero R. 2014. Controladores del tiempo y el envejecimiento: núcleo supraquiasmático y glándula pineal. *International Journal of Morphology*, 32(2), 409-414.
- Guevara L, Sainoz A. 2010. Mamíferos-depredadores, ¿Controlan las densidades poblacionales de los mamíferos-presa? *ContactoS* 76, 5-9.
- Halle S. 2000. Ecological relevance of daily activity patterns. En: *Activity Patterns in Small Mammals: An Ecological Approach*. Halle S, Stenseth NC. (eds). Springer. pp 67.
- Halle S, Stenseth NC. 2012. *Activity patterns in small mammals: an ecological approach*. Springer, 141).
- Harrington LA, Harrington AL, Yamaguchi N, Thom MD, Ferreras P, Windham TR, Macdonald DW. 2009. The impact of native competitors on an alien invasive: temporal niche shifts to avoid inter-specific aggression? *Ecology* 90, 1207-1216.
- INECC. (15 de noviembre de 2007). Situación ambiental de la Zona Metropolitana del Valle de México. Gobierno de México. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/268/metro3.html#top>
- Kronfeld-Schor N, Dayan T. 2008. Activity patterns of rodents: the physiological ecology of biological rhythms. *Biological Rhythm Research*, 39:3, 193-211.
- Lagos L. 2013. Ecología del lobo (*Canis lupus*), del poni salvaje (*Equus ferus atlanticus*) y del ganado vacuno semiextensivo (*Bos taurus*) en Galicia: interacciones depredador-presa. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Lenth BE, Knight RL, Brennan ME. 2008. The effect of dogs on wildlife communities. *Natural Areas Journal*, 218-227.
- Lima SL. 2002. Putting predators back into behavioral predator-prey interactions. *Trends in Ecology and Evolution.*, 17, 70-75.

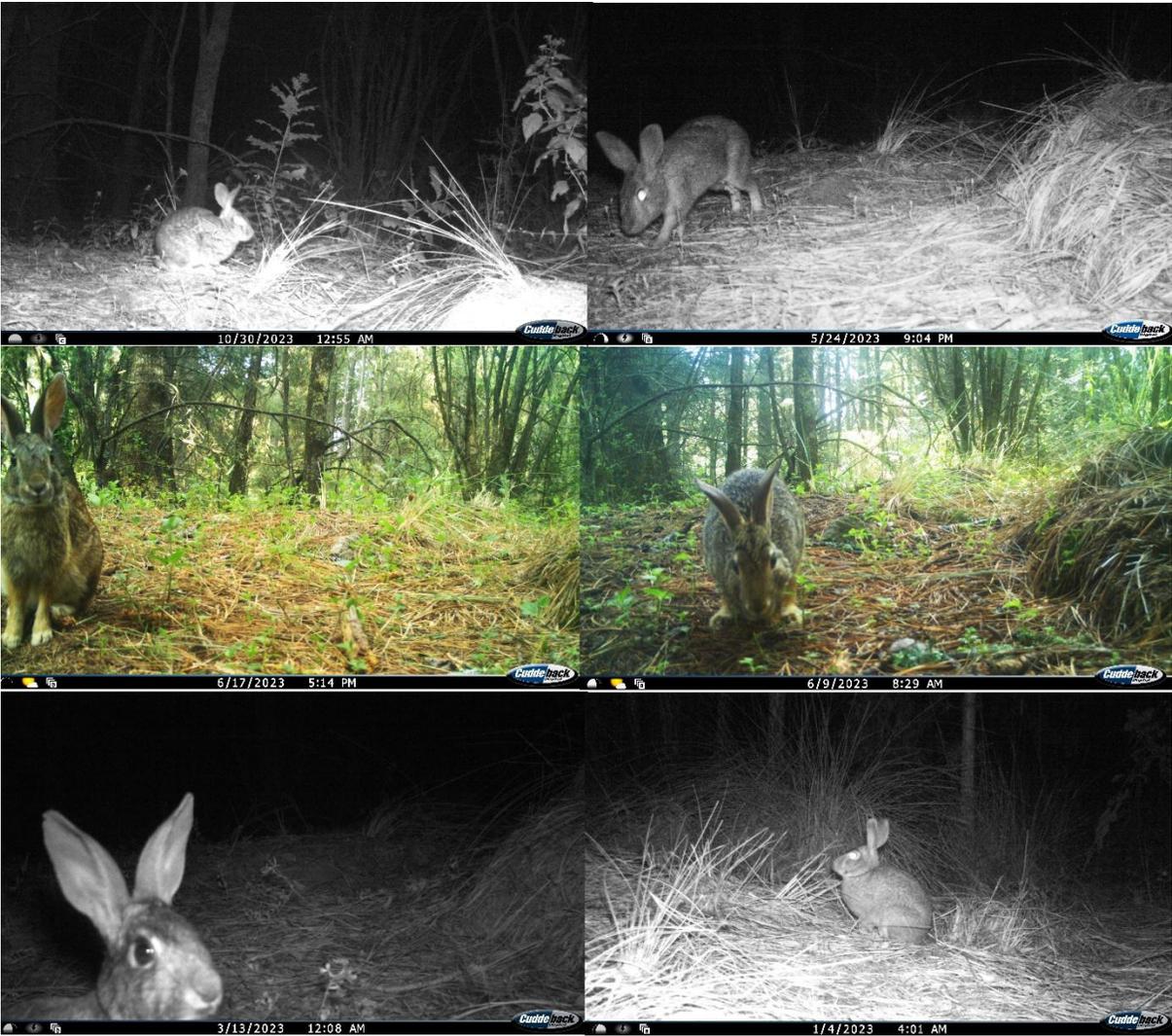
- Lima SL, Dill LM. 1990. Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology* 68, 619-640.
- Lira I, Briones M. 2012. Abundancia relativa y patrones de actividad de los mamíferos de los Chimalapas, Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 28(3), 566-588.
- Lyra M, Ciocheti G, Pivello V, Meirelles S. 2008. Comparing methods for sampling large- and medium-sized mammals: camera traps and track plots. *European Journal of Wildlife Research*, 54(4), 739.
- Lorenzo C, Lanier HC. 2019. *Sylvilagus cunicularius*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T21211A45181292. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T21211A45181292.en>. Accessed on 05 July 2023.
- Lorenzo C, Ruíz M. 2013. Conociendo y conservando a los lagomorfos mexicanos. *Ecofronteras* 47, 22-25.
- Lorenzo C, Vázquez J, Rodríguez-Martínez L, Bautista A, García-Méndez A, Cervantes F. 2018. *Sylvilagus cunicularius*. Mexican Cottontail. En: *Lagomorphs. Pikas, rabbits, and hares of the World*. Smith A, Johnston C, Alves P, Hacklander K. (eds.) pp. 131.
- Lucherini M, Repucci JI, Walker S, Villalba L, Wurstten A, Gallardo G, Iriarte A, Villalobos R, Perovic P. 2009. Activity pattern segregation of carnivores in the High Andes. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1404-1409.
- Mandujano S, Pérez-Solano L. 2019. Fototrampeo en R: organización y análisis de datos. INECOL.
- Marinho P, Bezerra D, Antongiovanni M, Fonseca C, Martins E. 2018. Activity patterns of the threatened northern tiger cat *Leopardus tigrinus* and its potential prey in a Brazilian dry tropical forest. *Mammalian Biology*, 89, 30-36.

- Marín-Sánchez A, Briones-Salas M, López-Wilchis R, Servín J. 2015. Ámbito hogareño del coyote (*Canis latrans*) en un bosque templado de la sierra Madre de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2).
- Meléndez C, Meléndez R. 2022. Biología comparada del conejo criollo (*Sylvilagus* sp.) y el conejo doméstico europeo (*Oryctolagus* sp.) con antecedentes de su consumo en una ciudad de Venezuela. *Revista de Medicina Veterinaria*, 44, 11-16.
- Mendoza I. 2020. Estadística circular aplicada a la Ecología. *Ecosistemas*, 29(2), 1995.
- Meredith M, Ridout M. 2017. overlap: Estimates of coefficient of overlapping for animal activity patterns. R package version 0.3.0.
- Michalski F, Norris D. 2011. Activity patterns of *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae) in relation to lunar illumination and other abiotic variables in the southern Brazilian Amazon. *Zoología*, 28(6), 701-708.
- Monroy-Vilchis O, Rodríguez-Soto C, Zarco-González M, Urios V. 2009. Cougar and jaguar habitat use and activity patterns in Central Mexico. *Animal Biology*, 59, 145-157.
- Monroy O, Zarco M, Rodríguez C, Soria L, Urios V. 2011. Fototrampeo de mamíferos en la Sierra Nanchititla, México: abundancia relativa y patrón de actividad. *Revista de Biología Tropical*, 59, 373-380.
- Monterroso P, Alves PC, Ferreras P. 2013. Catch me if you can: diel activity patterns of mammalian prey and predators. *Ethology* 119, 1044-1056.
- Monterroso P, Alves PC, Ferreras P. 2014. Plasticity in circadian activity patterns of mesocarnivores in southwestern Europe: implications for species coexistence. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 68, 1403-1411.
- Nielsen C, Berkman L. 2018. *Sylvilagus floridanus*. Eastern Cottontail. En: Lagomorphs. Pikas, rabbits, and hares of the World. Smith A, Johnston C, Alves P, Hacklander K. (eds) pp. 137.

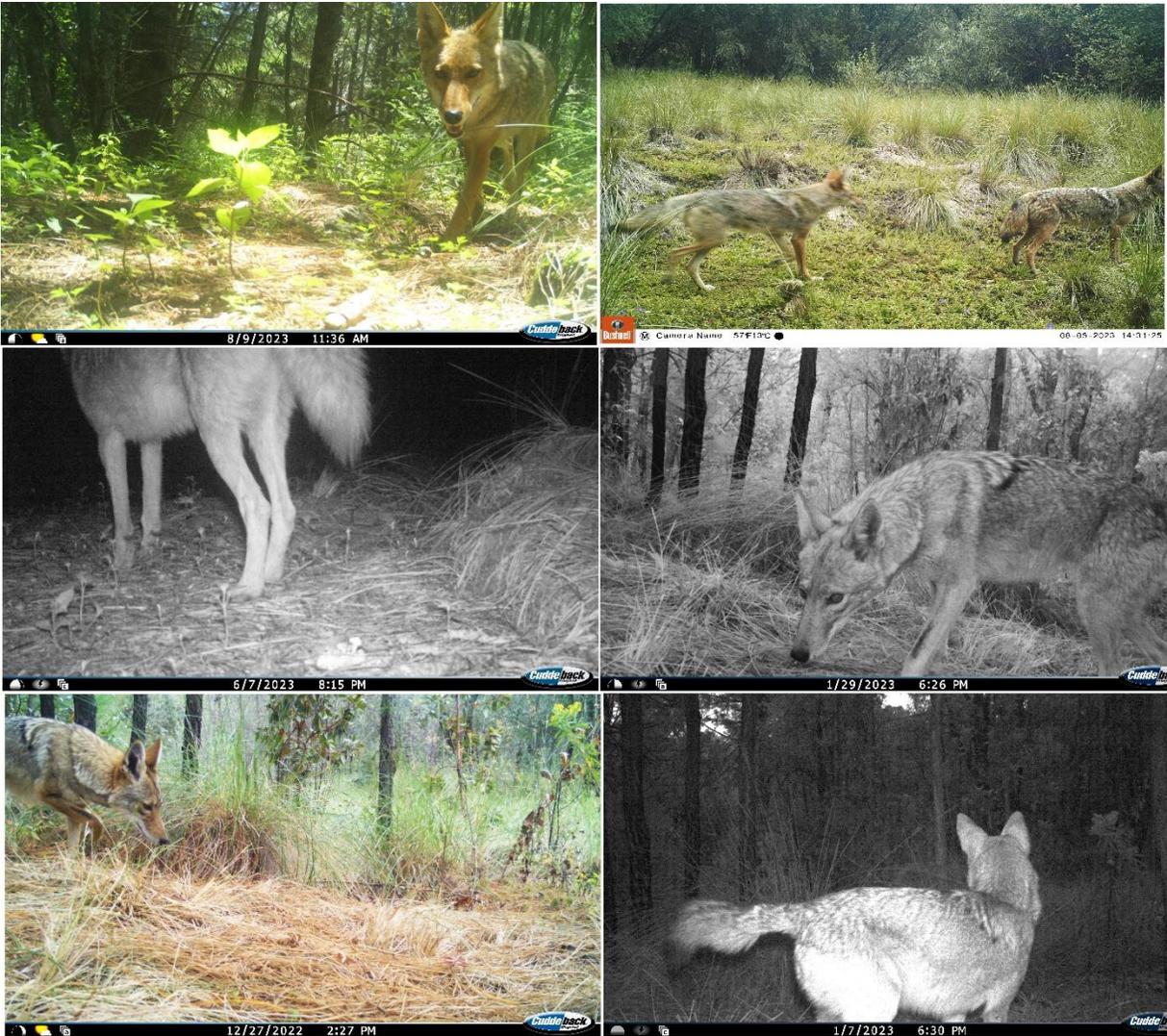
- O'Brien TG, Kinnaird MF, Wibisono HT. 2003. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation* 6, 131-139.
- Prada LM, Guerrero-Casado J, Tortosa FS. 2018. European rabbits recognise conspecifics in their predators' diets. *Acta ethologica* 21, 163–168.
- Reátiga J. 2015. Determinación del efecto de perros ferales (*Canis lupus familiaris*) sobre los mamíferos del Parque Nacional Natural Chingaza, mediante fototrampeo. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana.
- Ridout MS, Linkie M. 2009. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 14:322–337.
- Rodewald A, Kearns L, Shustack D. 2011. Anthropogenic resource subsidies decouple predator–prey relationships. *Ecological applications*, 21(3), 936-943.
- Rodríguez-Martínez L. 2015. Descripción de la conducta materna y desarrollo de las crías del conejo montés *Sylvilagus cunicularius* en condiciones de semicautiverio. Tesis de Doctorado. Universidad Veracruzana.
- Rowcliffe J, Field J, Turvey S, Carbone C. 2008. Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology*, 45, 1228-1236.
- Ruíz-Soberanes J, Gómez-Álvarez G. 2010. Estudio mastofaunístico del Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala, México. *Therya*, 1(2), 97-110.
- SEMARNAT, CONANP. 2013. Programa de Manejo Parque Nacional la Montaña Malinche o Matlalcuéyatl.
- Sih A. 1992. Prey uncertainty and the balancing of antipredator and feeding needs. *The American Naturalist* 139.
- Silva-Rodríguez E, Sieving K. 2011. Influence of care of domestic carnivores on their predation on vertebrates. *Conservation Biology*, 25(4), 808-815.

- Silva N. 2021. Interacciones ecológicas entre felinos y cánidos en el Parque Nacional Huatulco, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- UICN. 2023. Categorías y criterios de la EICAT de la UICN. Clasificación del impacto ambiental de taxones exóticos. Primera edición. Gland, Suiza: UICN.
- Vanak AT, Gompper ME. 2009. Dietary Niche Separation Between Sympatric Free-Ranging Domestic Dogs and Indian Foxes in Central India. *Journal of Mammalogy*, 90(5):1058-1065.
- Van der Zee EA, Havekes R, Barf RP, Hut RA, Nijholt IM, Jacobs EH, Gerkema MP. 2008. Circadian timeplace learning in mice depends on Cry genes. *Current Biology*, 18, 844–848.
- Vázquez P, Martínez-Chacón A, Hudson R, Rodríguez- Martínez L, Martínez-Gómez M. 2007. Seasonal reproduction in Mexican cottontail rabbit *Sylvilagus cunicularius* in La Malinche National Park, central México. *Acta Theriologica*, 52:361-369.
- Vázquez P, Farías V, Rodríguez-Martínez L, Bautista A, Palacios-Roque G, Martínez-Gómez M. 2013. Ámbito hogareño del conejo mexicano (*Sylvilagus cunicularius*) en un bosque templado del centro de México. *Therya*, 4(3), 581-595.
- Villers-Ruiz L, Rojas-García F, Tenorio-Lezama P. 2006. Guía Botánica del Parque Nacional Malinche Tlaxcala-Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

**Anexo 1.** Registros fotográficos de *Sylvilagus* spp. en diferentes estaciones de fototrampeo obtenidos durante el estudio.



**Anexo 2.** Registros fotográficos de *C. latrans* en diferentes estaciones de fototrampeo obtenidos durante el estudio.



**Anexo 3.** Registros fotográficos de *C. l. familiaris* en diferentes estaciones de fototrampeo obtenidos durante el estudio.

