



UNIVERSIDAD DE CHILE – FACULTAD DE CIENCIAS – ESCUELA DE PREGRADO

“VARIACIÓN TEMPORAL EN LOS PATRONES DE ACTIVIDAD DE  
MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS EN UN PAISAJE AGRÍCOLA DE  
CHILE CENTRAL Y SU RELACIÓN CON LAS FASES DEL CICLO  
LUNAR”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los  
requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente

Diana Andrea Vásquez Juacida

Directora del Seminario de Título: Audrey Alejandra Grez Villarroel

Co-Directora del Seminario de Título: Annia Rodríguez-San Pedro

2019

Santiago – Chile



## **INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO**

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la **Srta. Diana Andrea Vásquez Juacida**

**“Variación temporal en los patrones de actividad de murciélagos insectívoros en un paisaje agrícola de Chile central y su relación con las fases del ciclo lunar”**

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo/a con mención en Medio Ambiente

**Directora Seminario de Título:** Audrey Alejandra Grez Villarroel

**Co-Directora del Seminario de Título:** Annia Rodríguez-San Pedro

### **Comisión Revisora y Evaluadora**

**Presidente Comisión:** \_\_\_\_\_

**Evaluador:** \_\_\_\_\_

Santiago de Chile, Diciembre 2019

## Biografía



Nació en Santiago de Chile en 1994, siendo la segunda de tres hijas.

Cursó su enseñanza básica en el colegio Mayor de Puente alto y su enseñanza media en el Colegio Hispano Americano. Luego, sin tener claro el camino a seguir pero convencida de su pasión por la naturaleza decide entrar a estudiar Química ambiental en la Universidad de Chile, en la cual se mantuvo un año para realizar decidida y definitivamente un posterior cambio interno a la carrera de Biología ambiental. En el año 2018, durante el transcurso de su carrera y en la búsqueda de nuevos desafíos académicos realiza un intercambio de estudios en la Universidad Nacional Autónoma de México en México, lo que le permite ampliar su visión del mundo y reafirmar su decisión de encaminar su vida ligada a la naturaleza y su conservación.

### **Agradecimientos**

En primer lugar quiero agradecer a mi Padre y hermanas por acompañarme en todo el proceso académico y por su absoluta comprensión con mis decisiones académicas aun cuando significara dejar de lado actividades familiares.

En segundo lugar quiero agradecer a mi compañero de vida, Francisco Valdés por apoyarme y acompañarme de forma incondicional en mi proceso académico, como también a toda su familia por su interés y amor.

Quisiera agradecer a Annia Rodríguez-San Pedro por darme la oportunidad de trabajar con ella, enseñarme más sobre los murciélagos de Chile y ser mi guía en este trabajo. A la Profesora Audrey Grez por recibirme con los brazos abiertos en su laboratorio, enseñarme la importancia del trabajo constante en la ciencia y orientarme en el proceso de tesis. A quienes conforman parte del LEAF, por integrarme en el laboratorio como una más y por el grato ambiente siempre.

También agradezco a mis amigas por acompañarme en el camino y su disposición de ayudarme en lo que necesitara.

Agradezco al proyecto FONDECYT de Postdoctorado N° 3160188 de Annia Rodríguez-San Pedro por entregar el financiamiento para desarrollar este trabajo.

## Índice de contenido

Biografía.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Índice de contenido .....	iv
Índice de Tablas .....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	1
Abstract .....	3
Introducción .....	4
Objetivo general .....	6
Objetivos específicos .....	7
Materiales y Métodos.....	8
Resultados .....	12
Discusión.....	18
Conclusiones .....	24
Bibliografía .....	25

## Índice de Tablas

**Tabla 1.** Resultados del análisis Modelo lineal generalizado mixto (GLMM) para la actividad de las especies y el % de iluminación de la luna, y de la prueba U-Mann-Whitney para la actividad en fase de luna llena y luna nueva. \* Indica diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).....13

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> A). Detector de grabación automática Song Meter SM4 BAT FS con micrófono omnidireccional ultrasónico SMM-U1. B). Detector de grabación automática emplazado a una altura 4,5 metros sobre el nivel del suelo.....	9
<b>Figura 2.</b> Especies de murciélagos presentes en el área de estudio. A) Murciélago rojo ( <i>Lasiurus varius</i> ); B) Murciélago ceniciento ( <i>Lasiurus cinereus</i> ); C) Murciélago oreja de ratón del Sur ( <i>Myotis chiloensis</i> ); D) Murciélago cola de cola libre ( <i>Tadarida brasiliensis</i> ); E) Murciélago orejón grande ( <i>Histiotus macrotus</i> ); F) Murciélago orejón chico ( <i>Histiotus montanus</i> ).....	12
<b>Figura 3.</b> Relación entre la actividad de cinco murciélagos y el porcentaje de iluminación de la luna. Cada punto corresponde a la media de pases de ecolocalización registrado por noche.....	14
<b>Figura 4.</b> Diferencia en la actividad de cinco especies de murciélagos representada como el número de pases de ecolocalización (Media $\pm$ ES) entre noches de luna llena y noches de luna nueva. Luna llena (80-100 % de iluminación de la luna) y luna nueva (0-20% de iluminación de la luna). El diagrama boxplot presenta una caja con dimensiones dadas según el primer (25 % de los valores) y tercer cuartil (75 % de los valores); una línea horizontal destacada que representa el segundo cuartil (50 % de los valores), unas líneas verticales punteadas que representan los límites inferiores y superiores del rango de los	

valores y aquellos puntos fuera de estos límites son considerados valores atípicos.

.....15

**Figura 5.** Patrones de actividad temporal de cinco especies de murciélagos en noches de luna llena y noches de luna nueva.....17

## Resumen

Los patrones de actividad de los murciélagos están determinados por distintos factores ambientales, entre los que se encuentra la intensidad de la luz de la luna. Al respecto, algunas especies reducen sus niveles de actividad durante las noches más iluminadas, un fenómeno conocido como “fobia lunar” que parece estar asociado con un aumento en el riesgo de depredación y/o una menor actividad de presas. Esta respuesta a la fobia lunar parece ser más común en especies de regiones tropicales, sin embargo la carencia de estudios en latitudes templadas limitaría la generalización de esta hipótesis. Los murciélagos de la zona templada de Chile central prestan un importante servicio ecosistémico como controladores de insectos plaga. El presente estudio buscó esclarecer los patrones temporales, a escala horaria, es decir, en cada hora de actividad de murciélagos insectívoros en el paisaje agrícola de Chile central y cómo sus niveles de actividad se ven afectados por las fases del ciclo lunar. Se utilizaron técnicas de detección acústica para identificar la actividad de cinco especies de murciélagos en una zona de viñedos en Paine, Región Metropolitana de Santiago. Se evaluó la relación entre la actividad de los murciélagos y el porcentaje de iluminación de la luna; se comparó la actividad de las especies entre dos fases (luna llena y luna nueva), y se comparó y describió el patrón temporal de actividad de cada una de las especies. Todas las especies de murciélagos modificaron su actividad en función de la luz de la luna. *Lasiurus varius*, *Lasiurus cinereus*, *Myotis chiloensis* e *Histiotus* sp. disminuyeron su actividad en noches de mayor iluminación y sólo *Tadarida brasiliensis* registró un aumento en su actividad. Esto sugiere que la mayoría de las especies de murciélagos insectívoros de la zona central

de Chile presentan fobia lunar pero que ello depende de características especie-específica. Por otro lado, los patrones temporales de actividad a lo largo de la noche no se vieron afectados en función del ciclo lunar en la mayoría de las especies, a excepción de *L. cinereus*. Este conocimiento sobre la ecología de los murciélagos de Chile central será relevante para la gestión eficaz de la conservación de la biodiversidad, en la planificación y el diseño de programas de monitoreo de las poblaciones de murciélagos en ambientes productivos y sus servicios ecosistémicos.

### Abstract

The activity patterns of bats are determined by various environmental factors, including the intensity of moonlight. In this regard, some species reduce their levels of activity during brighter nights, a phenomenon known as "lunar phobia" that seems to be associated with an increased risk of predation and/or reduced prey activity. This response to lunar phobia appears to be more common in species from tropical regions, however the lack of studies at temperate latitudes would limit the generalization of this hypothesis. The bats of the temperate zone of central Chile provide an important ecosystem service as pest insect controllers. The present study sought to clarify the hourly temporal patterns of insectivorous bat activity in the agricultural landscape of central Chile and how their activity levels are affected by the phases of the lunar cycle. Acoustic detection techniques were used to identify species activity in three vineyards in Paine, Santiago Metropolitan Region. The relationship between species activity and percentage of moon illumination was evaluated; species activity between two phases (full moon and new moon) was compared, and the time pattern of activity of each of the species was compared and described. All bat species showed modification of their activity according to the moonlight. *Lasiurus varius*, *Lasiurus cinereus*, *Myotis chiloensis* and *Histiotus* sp. showed a decrease in their activity in nights of greater illumination and only *Tadarida brasiliensis* presented an increase in their activity. This suggests that the majority of insectivorous species in central Chile present lunar phobia but that this depends on species-specific characteristics. This information will be relevant for the effective management of biodiversity conservation, planning and design of monitoring programs for bat populations in productive environments and their ecosystem services.

## **Introducción**

Los patrones de actividad de los murciélagos pueden variar, tanto espacial como temporalmente, en respuesta a diversos factores ambientales, entre los que se incluyen la velocidad del viento, las oscilaciones de temperatura y las precipitaciones (Stephan & Zucker 1972; Erkert, 1982; Hayes, 1997; Milne y col., 2005; Lang y col., 2006; Kronfeld-Schor y col., 2013; Leuchtenberger y col., 2018). Además, los murciélagos pueden alterar su comportamiento y actividad con los cambios en la intensidad de la luz de la luna (Morrison, 1978). Al respecto, se ha documentado que durante las noches más iluminadas algunas especies de murciélagos pueden modificar su conducta de forrajeo, ya sea seleccionando estratos vegetacionales de cobertura más densa o reduciendo sus niveles de actividad, un fenómeno conocido como “fobia lunar” (Morrison 1978; Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas, 2013) que parece estar asociado con un aumento en el riesgo de depredación y/o una menor actividad de algunos grupos de presas (Esbérad, 2007; Lima & O’Keefe, 2013).

Sin embargo, no todas las especies de murciélagos disminuyen su actividad al aumentar la intensidad de la luz de la luna, lo cual depende de rasgos especie-específicos. Para especies de murciélagos insectívoros aéreos que utilizan la ecolocalización como sistema de orientación, la morfología alar, el tamaño corporal y la flexibilidad en el uso de ciertos hábitats puede ser un rasgo determinante (Appel y col., 2017). Las especies con alas largas y estrechas, adaptadas a un vuelo rápido en espacios abiertos o por encima del dosel de vegetación, parecen ser menos susceptibles a los depredadores y, por lo tanto, pueden forrajear de manera más segura en noches iluminadas (Holland y col., 2011). Asimismo, las especies de murciélagos que utilizan múltiples hábitats durante el forrajeo, como por

ejemplo, el interior de los bosques, los bordes de vegetación y las áreas abiertas, se mueven a través de un amplio rango de variación en cuanto a la densidad de la cobertura vegetal (Mancina, 2008), lo que las hace más tolerantes a los cambios de iluminación y por lo tanto pueden verse menos afectadas por las variaciones en la intensidad de la luz de la luna (Rydell, 1991; Breviglieri, 2011). Una revisión reciente sugiere que la respuesta a la fobia lunar es más común en las especies de murciélagos de regiones tropicales que en regiones templadas, debido a la alta diversidad de depredadores y alta proporción de especies de vuelo lento en zonas tropicales (Saldaña-Vázquez y col., 2013); sin embargo, la escasez de estudios realizados en latitudes templadas, fundamentalmente entre los 25° y 45°, en ambos hemisferios, limitaría la generalidad de esta hipótesis.

La zona central de Chile, se caracteriza por poseer un clima templado, con una fauna de murciélagos dominada por especies insectívoras que capturan sus presas al vuelo (Rodríguez-San Pedro y col., 2016). Si bien a la fecha varios estudios han revelado detalles importantes sobre los patrones de actividad y uso de hábitat de las distintas especies, principalmente en paisajes agrícolas y forestales (Rodríguez-San Pedro y Simonetti, 2013 a, 2015; Rodríguez San-Pedro y col., 2018; 2019), estos han estado acotados a las primeras cuatro horas de actividad nocturna, lo cual ha limitado el conocimiento sobre la dinámica temporal a lo largo de toda la noche. Por otro lado, tampoco se ha evaluado la influencia del ciclo lunar en la actividad temporal de las distintas especies.

Debido al rol que estas especies desempeñan en los cultivos de la región como controladores de insectos plaga (Rodríguez-San Pedro y col., en revisión), su conservación

en los paisajes agrícolas será crucial para los agricultores. En este sentido, contar con información sobre los patrones y correlatos de variación en la actividad temporal será fundamental para la planificación y el diseño de programas de investigación y monitoreo de sus poblaciones y servicios ecosistémicos asociados.

Hipótesis: La actividad de los murciélagos insectívoros se ve afectada por los cambios en la intensidad de la luz de la luna entre noches. De igual manera, la actividad temporal a lo largo de la noche varía entre noches de luna llena y noches de luna nueva.

En este sentido,

- a. La actividad de los murciélagos se relacionará negativamente con la intensidad de la luz de la luna, siendo mayor en noches con bajo porcentaje de luminosidad lunar, respecto a noches con un alto grado de luminosidad lunar.
- b. La actividad temporal de los murciélagos a lo largo de la noche será más homogénea en noches de luna nueva, mientras que en noches de luna llena la actividad se concentrará al inicio de la noche.

Objetivo general:

Examinar los patrones temporales de actividad de murciélagos insectívoros en un paisaje agrícola de Chile central, y analizar cómo su actividad se ve afectada por las fases del ciclo lunar.

Objetivos específicos:

1. Examinar cómo varía la actividad de los murciélagos entre noches en función de los cambios en la intensidad de luz de la luna asociados al ciclo lunar.
2. Examinar la actividad temporal de los murciélagos a lo largo de la noche y cómo ésta varía entre noches de luna llena y noches de luna nueva.

### **Materiales y Métodos**

El área de estudio se encuentra ubicada en el poblado de Huelquén, comuna de Paine, Región Metropolitana de Santiago, Chile. La actividad de los murciélagos se registró en primavera y verano, entre los meses de Octubre 2017 y Febrero 2018, en un paisaje agrícola dominado por viñedos, donde fueron emplazados siete puntos de monitoreo (tres puntos en viña Huelquén, dos puntos en viña La Montaña y dos puntos en viña Antiyal), localizados al interior de las viñas y separados uno del otro a una distancia mínima de 1km.

Para el registro de la actividad de los murciélagos, en cada uno de los siete puntos se utilizó un detector de grabación automática (Song Meter SM4 BAT FS), con un micrófono omnidireccional ultrasónico SMM-U1 (Wildlife Acoustics, Maynard, Massachusetts, USA) emplazado a una altura aproximada de 4,5 m sobre el nivel del suelo (Fig. 1). Los detectores fueron programados para registrar pasivamente, y de forma continua, la actividad de los murciélagos a lo largo de la noche, iniciando con el atardecer (entre 20:00 y 20:50 hrs., aproximadamente, ajustadas de acuerdo a la hora del atardecer de cada noche) y terminando en el amanecer (06:00 – 06:59 hrs., aproximadamente, ajustadas de acuerdo a la hora del amanecer para cada noche), dando como resultado un período de grabación de 10 horas por noche. En cada punto de muestreo se monitoreó la actividad de los murciélagos durante al menos cuatro noches por cada ciclo lunar (cuarto menguante, luna nueva, cuarto creciente y luna llena), para un total de 66 noches de muestreo y 1584 horas de grabación.

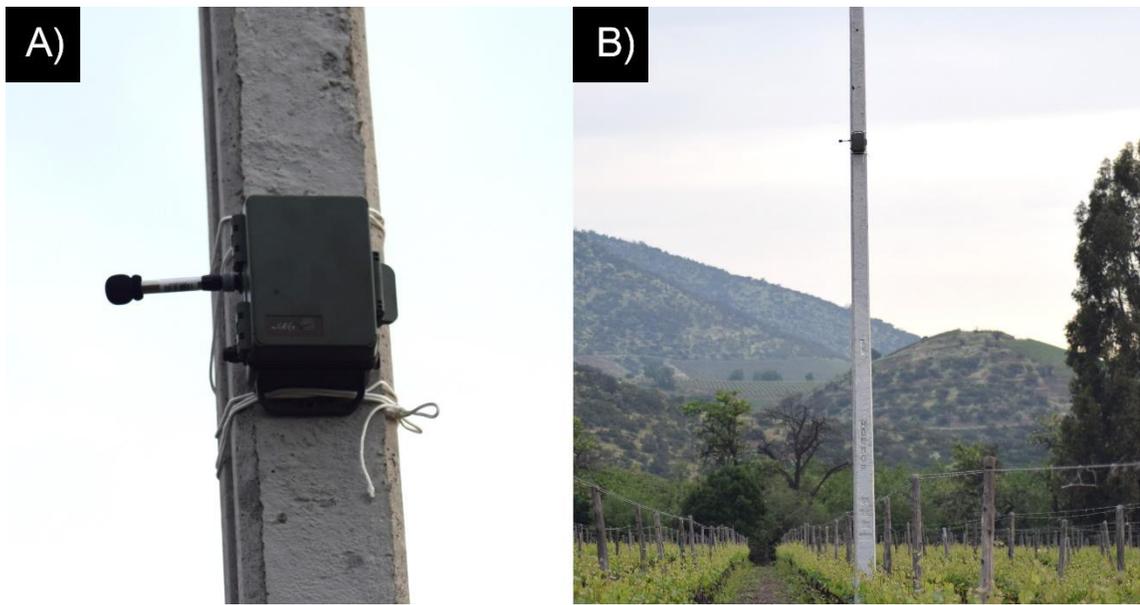


Fig. 1. A). Detector de grabación automática Song Meter SM4 BAT FS con micrófono omnidireccional ultrasónico SMM-U1. B). Detector de grabación automática emplazado a una altura aproximada de 4,5 m sobre el nivel del suelo.

Los registros acústicos obtenidos fueron visualizados y analizados mediante el programa Avisoft-SASLab Lite (Avisoft Bioacoustics, Alemania). La asignación de las llamadas a cada especie se realizó de forma manual, comparando los parámetros acústicos de las llamadas registradas en cada punto de muestreo con las almacenadas en una sonoteca de llamadas de referencia validadas para los murciélagos de Chile central (Rodríguez-San Pedro y col., 2016). Los parámetros acústicos para identificar a las especies corresponden a: 1) duración (tiempo entre el inicio y el final de una llamada); 2) frecuencia inicial y 3) frecuencia final de las llamadas (medidas en kHz); 4) ancho de banda (calculado como la diferencia entre la frecuencia inicial y final de la llamada); 5) pendiente de modulación de frecuencia (calculado como el ancho de banda dividida por la duración de la llamada); 6) frecuencia pico (frecuencia en kHz correspondiente a la máxima intensidad de la señal

medida en el espectro de potencia); 7) frecuencia mínima y 8) frecuencia máxima (ambas medidas 20 dB por debajo de la intensidad máxima de la señal en el espectro de potencia).

Se estimó un índice de actividad calculado para cada especie contabilizando el número de pases de ecolocalización registrado por noche para cada punto de muestreo (Rodríguez-San Pedro & Simonetti 2015). Para el análisis de la actividad temporal a lo largo de la noche este índice se estimó como el número de pases por hora en cada noche. Se consideró un “pase de ecolocalización” cualquier registro de 15 segundos de duración en el que se identificaron dos o más pulsos emitidos por un murciélago.

Los datos de las fases lunares se obtuvieron del Departamento de Astronomía del Observatorio Naval de Estados Unidos (<https://www.vercalendario.info/es/luna/chileno-calendario-2017.html>). Las fases lunares fueron categorizadas en dos fases contrastantes (luna nueva: 0-20 %; luna llena: 80-100 % de iluminación de la luna) Además, se consideró el gradiente completo de porcentaje de iluminación de la luna, es decir de 0-100 % de iluminación de la luna.

#### Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de la luz de la luna sobre la actividad de los murciélagos entre noches (Objetivo 1), se utilizó un Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM) con una distribución de Poisson, mediante el paquete “lme4” de R (Appel y col., 2017; Bates y col., 2011), tomando como variable respuesta la actividad (número de pases de ecolocalización) para cada una de las especie de murciélago, como variable predictora el

gradiente de porcentaje de iluminación de la luna (0-100 %) y como factor aleatorio el punto de muestreo.

La actividad de murciélagos se comparó entre fases lunares contrastantes (luna llena vs luna nueva) utilizando una prueba U de Mann-Whitney (los datos no pudieron ser normalizados). Tanto el GLMM como la prueba U de Mann-Whitney fueron realizados con el programa R-3.6.1 para Windows.

Para examinar la variación en la actividad temporal (número de pases de ecolocación por hora después del atardecer) de los murciélagos entre noches de luna llena y noches de luna nueva (Objetivo 2) se utilizó una prueba Z de Kolmogorov-Smirnov de dos muestras, que compara dos grupos independientes en una variable, detectando diferencias en la distribución de las dos muestras (Statistics Solutions, 2013). El análisis se realizó mediante el programa SPSS Statistics 23.0 (SPSS Inc., Chicago, USA).

## Resultados

Se registraron un total de 10.038 pases de ecolocalización, de los cuales el 99% (9.999 pases) pudo ser identificado y atribuido a una de las seis especies registradas en el área de estudio: *Tadarida brasiliensis* (7764 pases), *Lasiurus cinereus* (718 pases), *Myotis chiloensis* (676 pases), *Lasiurus varius* (561 pases), *Histiotus montanus* (257) e *Histiotus macrotus* (23) (Fig. 2). Debido al bajo número de pases de ecolocalización registrados para *H. montanus* y *H. macrotus*, ambas especies fueron agrupadas y analizadas en conjunto (género *Histiotus* sp.) evitando así limitaciones en los análisis estadísticos.

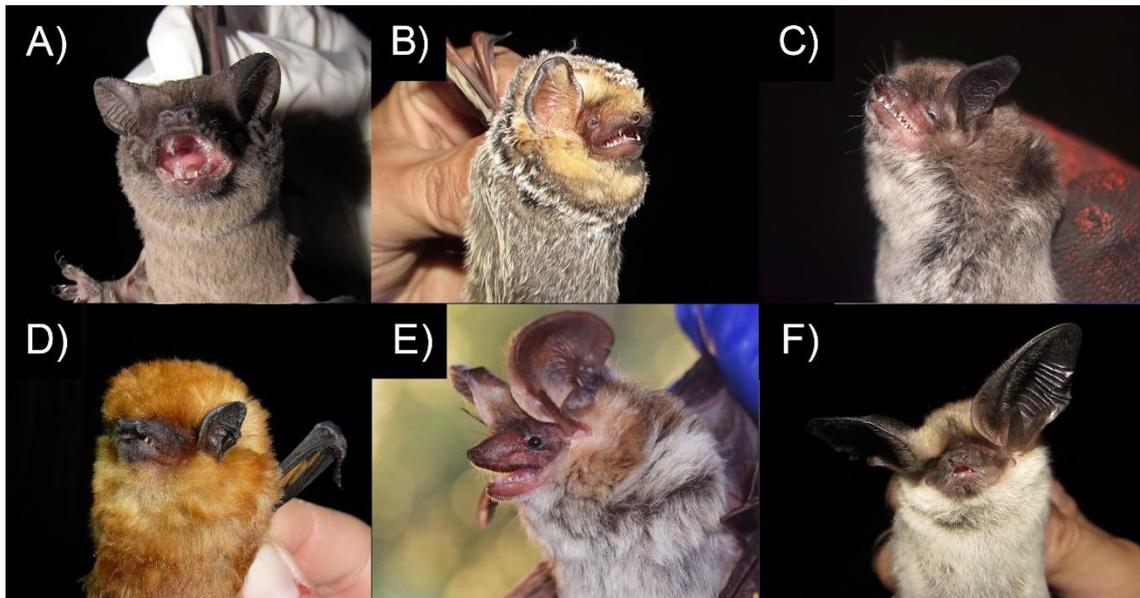


Fig. 2. Especies de murciélagos presentes en el área de estudio. A) Murciélago de cola libre (*Tadarida brasiliensis*); B) Murciélago ceniciento (*Lasiurus cinereus*); C) Murciélago oreja de ratón del Sur (*Myotis chiloensis*); D) Murciélago rojo (*Lasiurus varius*); E) Murciélago orejón chico (*Histiotus montanus*); F) Murciélago orejón grande (*Histiotus macrotus*).

**Efecto de la luz de la luna sobre la actividad de murciélagos entre noches**

La actividad de tres especies (*L. varius*, *L. cinereus* y *M. chiloensis*) y el género *Histiotus* se relacionó negativamente con el porcentaje de iluminación de la luna (Fig. 3; Tabla 1), siendo significativamente más activos en noches de luna nueva que en noches de luna llena (Fig. 4; Tabla 1). *Tadarida brasiliensis* fue la única especie cuya actividad incrementó significativamente con el porcentaje de luminosidad de la luna (Fig. 3; Tabla 1), pero tales diferencias no fueron significativas entre las fases de luna llena y luna nueva (Fig. 4; Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del análisis Modelo lineal generalizado mixto (GLMM) para la actividad de las especies y el % de iluminación de la luna, y de la prueba U-Mann-Whitney para la actividad en fase de luna llena y luna nueva. \* Indica diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Especie	% de iluminación de la luna			Luna llena vs Luna nueva	
	Estimación	Z	P	U	P
<i>Lasiurus varius</i>	-0,174	-2,68	0,007*	122	0,018*
<i>Lasiurus cinereus</i>	-0,180	-9,35	<0,001*	93,5	0,002*
<i>Myotis chiloensis</i>	-0,089	-10,77	<0,001*	51,5	<0,001*
<i>Tadarida brasiliensis</i>	-0,106	12,95	<0,001*	251,5	0,379
<i>Histiotus sp.</i>	-0,286	-7,02	<<0,001*	100,5	0,003*

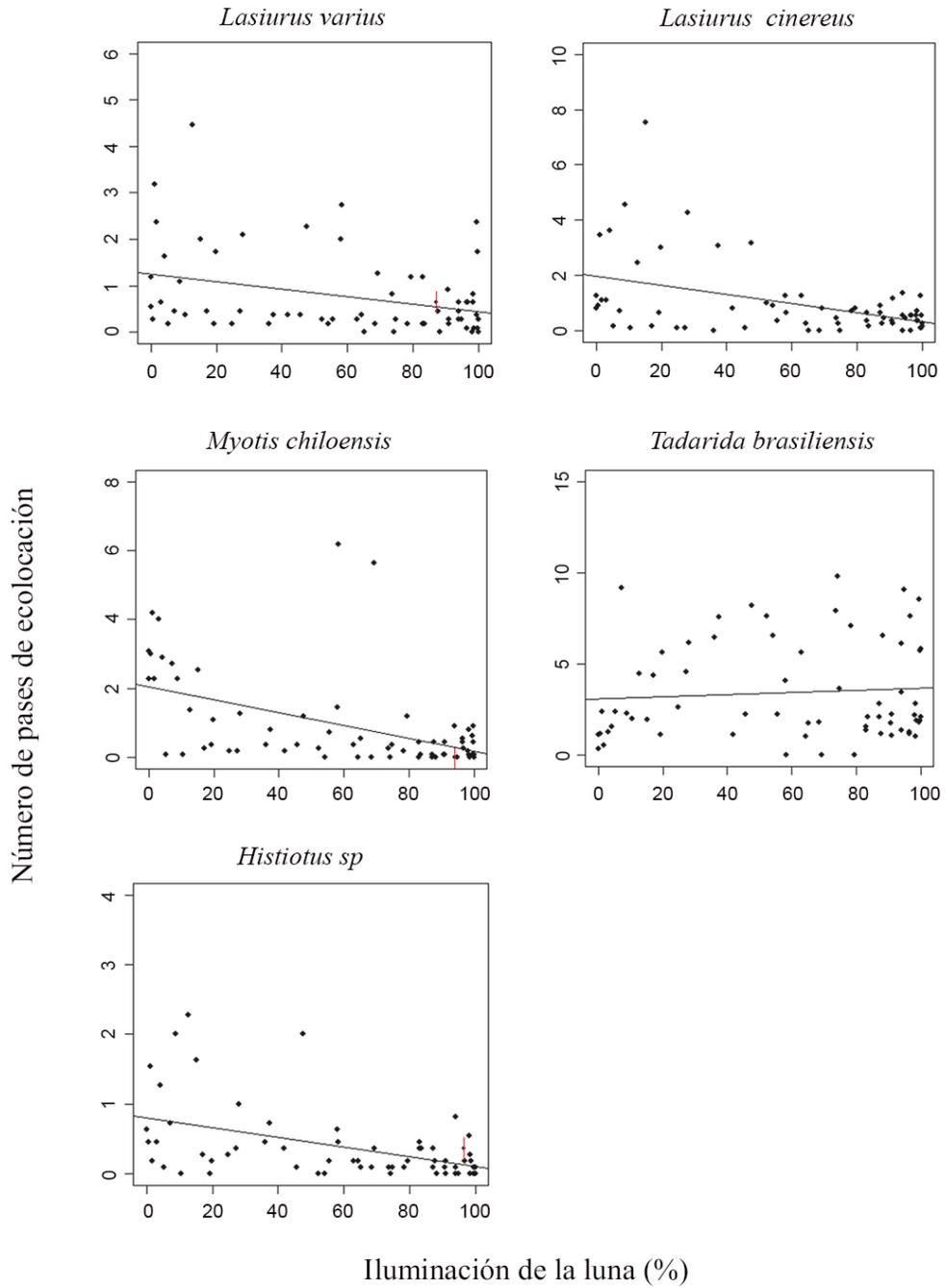


Fig. 3. Relación entre la actividad de cinco especies de murciélagos y el porcentaje de iluminación de la luna. Cada punto corresponde a la media de pases de ecolocalización registrado por noche.

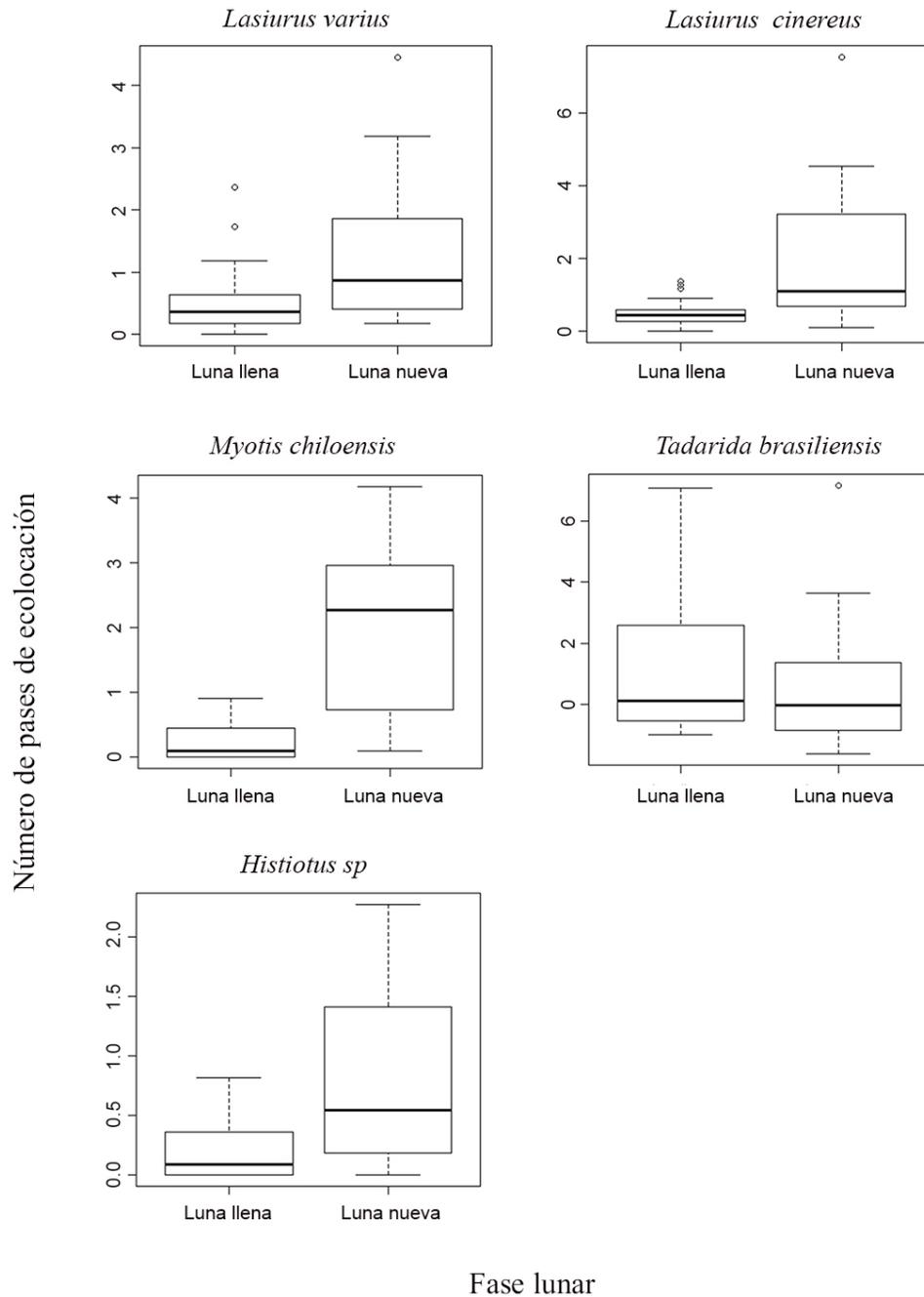


Fig. 4. Diferencia en la actividad de cinco especies de murciélagos representada como el número de pases de ecolocalización (Media  $\pm$  ES) entre noches de luna llena y noches de luna nueva. Luna llena (80-100 % de iluminación de la luna) y luna nueva (0-20% de iluminación de la luna). El diagrama boxplot presenta una caja con dimensiones dadas según el primer (25 % de los valores) y tercer cuartil (75 % de los valores); una línea horizontal destacada que representa el segundo cuartil (50 % de los valores), unas líneas verticales punteadas que representan los límites inferiores y superiores del rango de los valores y aquellos puntos fuera de estos límites son considerados valores atípicos.

## **Efecto de la luz de la luna sobre la actividad temporal de murciélagos a lo largo de la noche**

La actividad de *L. varius* a lo largo de la noche no difirió significativamente entre la fase de luna llena y luna nueva ( $Z=0,447$ ,  $P> 0,05$ ). En ambas fases la actividad se concentra en las dos primeras horas después del atardecer con una posterior disminución hacia el final de la noche (Fig. 5). La actividad nocturna de *L. cinereus* fue la única que varió entre las fases lunares ( $Z=1,565$ ,  $P< 0,05$ ); en luna llena concentró su actividad en las primeras dos horas después del atardecer, con una disminución hasta el final de la noche (Fig. 5), mientras que en luna nueva mostró una actividad homogénea durante la noche con una leve disminución en el transcurso del tiempo (Fig. 5). *Myotis chiloensis* no modificó significativamente su actividad nocturna entre fases lunares ( $Z=0,447$ ,  $P>0,05$ ), mostrando una tendencia de actividad en las primeras, en medio y últimas horas de la noche (Fig. 5). *Tadarida brasiliensis* tampoco varió su actividad entre fases lunares ( $Z=0,164$ ,  $P> 0,05$ ), siendo mayor en las primeras dos horas después del atardecer, seguida de una disminución en el resto de la noche, disminución que se observa más homogénea en luna nueva, pero no estadísticamente significativa (Fig. 5). *Histiotus sp.* no varió significativamente su actividad nocturna entre las fases lunares ( $Z=0,671$ ,  $P> 0,05$ ), concentrando su actividad en ambas fases durante las tres primeras horas después del atardecer seguido de una disminución en el resto de la noche, aun cuando en luna nueva se presenten unos aumentos posteriores (Fig. 5).

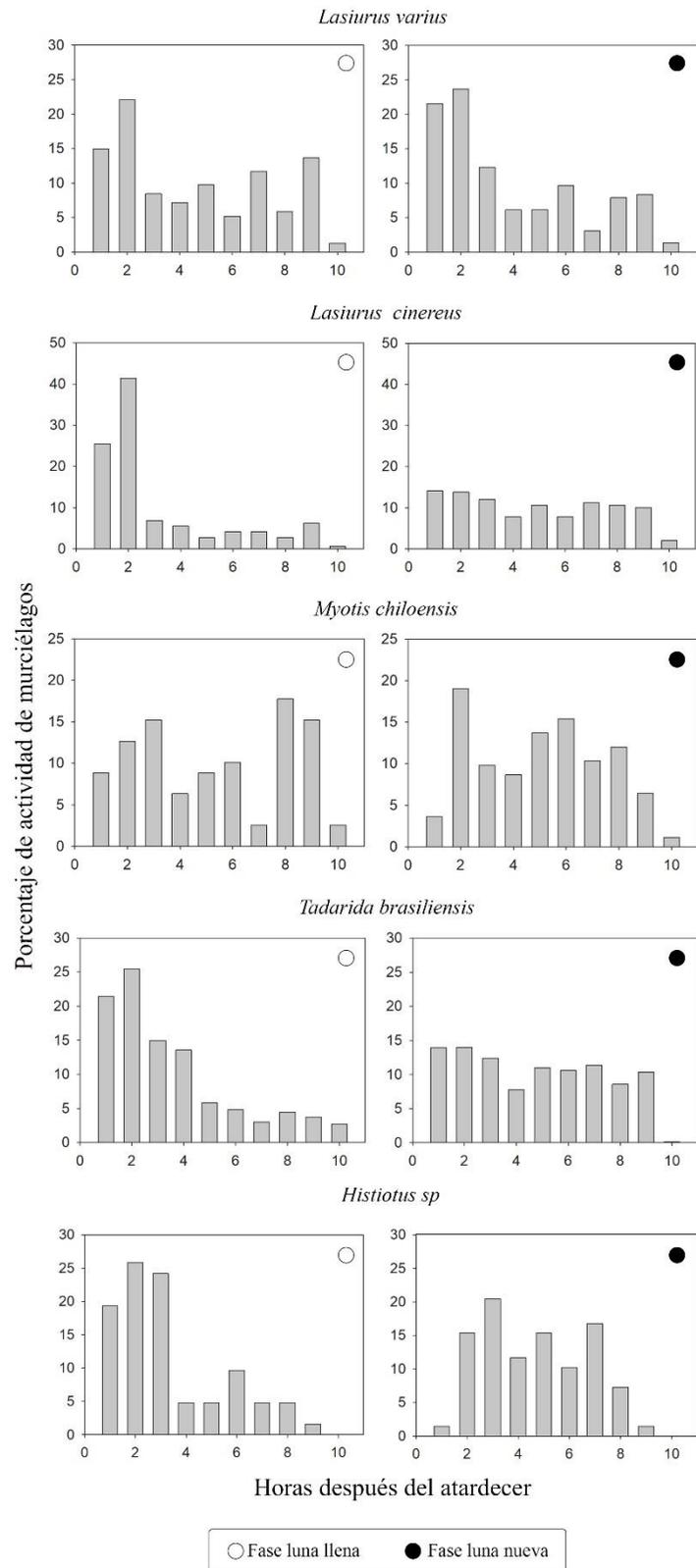


Fig. 5. Patrones de actividad temporal de cinco especies de murciélagos en noches de luna llena y noches de luna nueva.

## Discusión

La variación en los patrones de actividad de los murciélagos por efecto de la luz de la luna es un fenómeno documentado en distintas partes del mundo (Fenton y col., 1977; Lang y col., 2006; Esbérad, 2007; Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas, 2013), aunque ha sido mayoritariamente descrito para especies de regiones tropicales, con solo alrededor de 15 trabajos en ambientes templados (Fenton y col, 1977; Hayes, 1997; Karlsson y col., 2002; Parsons y col, 2003; Scanlon & Petit, 2009; Cichocki y col., 2015; Arndt y col., 2018 y en las referencias; Roeleke y col., 2018). Los resultados del presente estudio indican que la luz de la luna influye sobre la actividad de forrajeo de cinco especies de murciélagos insectívoros en Chile central. Este estudio es el primero en demostrar la existencia de fobia lunar en los murciélagos chilenos, mostrando una disminución en sus niveles de actividad con el incremento en la luminosidad lunar, y en noches de luna llena en comparación con noches de luna nueva. Estos resultados son consistentes con estudios previos en murciélagos de otras regiones templadas (Fenton y col, 1977; Adam y col, 1994; Ciechanowski y col. 2007) lo que nos hace pensar que podría tratarse de un fenómeno bastante común fuera de los trópicos contrario a lo sugerido por Saldaña-Vázquez y col., (2013). Sin embargo, se ha planteado que el fenómeno de fobia lunar no se puede generalizar para todas las especies de murciélagos insectívoros dado que el comportamiento varía según la especie y condiciones particulares (Morrison, 1978). Planteamiento que es concordante con la respuesta especie-específica encontrada en los murciélagos de Chile central.

Así, contrario a la mayoría de las especies en estudio, *T. brasiliensis* aumentó significativamente su actividad con el porcentaje de luminosidad de la luna, pero no mostró una diferencia entre las categorías de fase lunar. Esto puede explicarse porque dentro de una misma fase lunar la cantidad de luz puede variar, por ejemplo en fase de luna nueva, la luz puede variar entre 0-35% y 3-55% en fase de luna menguante, por lo que valores categorizados podrían estar solapados al compararse con el porcentaje de iluminación de la luna a lo largo de un gradiente (Appel y col., 2017). Adicionalmente, se ha propuesto que la variación de la actividad en función de la luna categorizada ampliamente puede estar ocultando una variabilidad importante entre las noches (Mello y col., 2013).

El comportamiento de fobia lunar está asociado principalmente al aumento en el riesgo de ser depredado (Fenton y col, 1977; Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas, 2013), porque en condiciones de mayor iluminación los depredadores tienen mayor visibilidad de sus presas (Lima & O’Keefe, 2013). Por ejemplo, se ha registrado que insectos presas pueden incrementar la capacidad de detectar a sus depredadores en noches con alta iluminación y así escapar de la depredación por parte de los murciélagos (Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas, 2013). Precisamente por este motivo se plantea una conducta de fobia lunar más frecuente en especies de murciélagos de zonas tropicales que zonas templadas, porque en zonas tropicales como hay mayor diversidad de depredadores, la presión de depredación es mayor a la de zonas templadas (Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas, 2013). Sin embargo, las especies de este estudio de zonas templadas muestran fobia lunar, por lo que

otros factores como la disminución de insectos sumados a la depredación pueden estar explicando esta conducta.

También, la actividad de los murciélagos en noches de mayor iluminación puede comprenderse por ciertas características morfológicas como la forma alar, que pueden determinar la evasión de depredadores, donde especies con vuelos más rápidos son menos susceptibles a la depredación que especies de vuelo lento (Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas, 2013). *Tadarida brasiliensis* es una especie que tiene alas extremadamente largas y angostas que le permiten un vuelo rápido en espacios abiertos, por encima del dosel de la vegetación (Canals y col., 2005; Rodríguez-San Pedro, 2014), lo que podría permitirle mayor capacidad para esquivar a los depredadores en noches de alta iluminación, y así explicar la ausencia de fobia lunar observada en esta especie; respuesta que se ha registrado en otros molósididos de clima templado (Rogers y col., 2006).

Por otro lado, la flexibilidad en el uso de hábitats también puede ser un factor que determine la actividad de los murciélagos (Saldaña-Vázquez & Munguía-Rosas, 2013), marcando diferencias entre las respuestas de las especies de acuerdo a la luz de la luna (Mancina, 2008). De acuerdo a la conducta de fobia lunar encontrada en las especies de Chile central, aquellas que forrajean más asociadas a la vegetación, como es el caso de *M. chiloensis* e *Histiotus sp.*, que suelen utilizar los bordes de bosque para desplazarse y buscar alimento, y por otra lado *L. cinereus* y *L. varius*, que si bien son capaces de forrajear en espacios abiertos, también forrajean en los bordes de bosques (Canals y col., 2005; Rodríguez-San Pedro & Simonetti, 2013 b), se vieron más afectadas por la luz de la luna que aquellas especies que forrajean en espacios abiertos (Saldaña-Vázquez & Munguía-

Rosas, 2013), como es el caso de *T. brasiliensis* que forrajea en asentamientos humanos, espacios abiertos (Canals y col., 2005; Rodríguez-San Pedro & Simonetti, 2013 b) y con preferencia sobre áreas agrícolas (Rogers y col., 2006; Rodríguez-San Pedro y col., 2018; 2019).

Contrario a lo esperado, el patrón de actividad temporal de los murciélagos para todas las especies a excepción de *L. cinereus*, no tuvo variación entre las fases lunares. En general, en todas las especies, la actividad de forrajeo comienza luego de la puesta de sol, específicamente durante las primeras dos horas después del atardecer, independiente de la fase lunar en la que se encuentre, lo cual puede estar explicado más bien por el riesgo de ser atacados por depredadores diurnos como por ejemplo aves rapaces diurnas como el cernícalo (Rodríguez-San Pedro & Allendes, 2015), que por la relación con la iluminación de la luna (Arndt y col., 2018). También esta salida temprana puede estar asociada a la disponibilidad de algunas de sus presas (Arndt y col., 2018), como dípteros y lepidópteros (Canals y col., 2005; Rodríguez-San Pedro, 2014). La actividad de dípteros está concentrada en las primeras horas de la noche (Jones & Rydell, 1994) y la de lepidópteros de forma bimodal en las primeras y últimas horas de la noche (Meyer y col., 2004). Ello podría explicar la actividad de *L. varius*, *T. brasiliensis* e *Histiotus sp.* que presentan mayor actividad en las primeras horas, y *M. chiloensis* que presenta actividad en las primeras horas, en medio y final de la noche. Esta estrategia de forrajeo de los murciélagos en las primeras horas y en medio de la noche si bien no coincide completamente con la actividad de los insectos, puede representar una compensación entre la disponibilidad de recursos y el riesgo de depredación (Thies y col., 2006).

*Lasirius cinereus* por su parte muestra una clara preferencia por estar activo en las primeras horas de la noche en fase de luna llena y de forma homogénea a lo largo de la noche en fase de luna nueva. Esta diferencia concuerda con lo encontrado en otros murciélagos insectívoros africanos, donde en noches de luna llena su actividad de forrajeo se concentra en las primeras horas de la noche con ausencia de un segundo periodo de alimentación, lo que se ha asociado a una disminución de insectos presas, dado que se ha visto que los insectos disminuyen su actividad en noches de luna llena (Fenton y col, 1977). En noches más oscuras, la búsqueda de alimentación por parte de estos murciélagos mejora (Fenton y col, 1977), concentrándose en el medio de la noche (Elangovan & Marimuthu, 2001). Sin embargo, vale la pena mencionar que las razones de la variación de los patrones de actividad temporal de los murciélagos no es clara, pudiendo ser multifactorial, relacionándose con la abundancia de insectos, condiciones meteorológicas, factores sociales o de otro tipo (Hayes, 1997). Por otro lado, es importante destacar que dentro de una misma noche la luminosidad puede variar, la luna puede salir al comienzo u horas después de la puesta de sol, lo que también podría afectar el comportamiento a lo largo de la noche (Appel y col., 2017).

Este estudio plantea las bases para que futuras investigaciones puedan considerar el factor lunar y los patrones de comportamiento como factores influyente a la hora de realizar estudios sobre los murciélagos insectívoros de Chile central. En ese sentido, aporta en la ecología básica de estas especies, lo que permite enriquecer el diseño de los estudios utilizados hoy en día, específicamente el periodo en el cual se realizan los muestreos. Por otro lado, el hecho de poder enriquecer estos diseños conlleva a obtener resultados más

completos, como por ejemplo en los estudios de impacto ambiental, investigaciones o inventarios, dado que actualmente al no considerar el efecto de la luna y la actividad temporal a lo largo de la noche, los relacionados con abundancias y los efectos de potenciales impactos sobre los murciélagos podrían estar siendo subestimados.

Según este estudio, la condición de luz lunar es un factor que afecta la actividad de los murciélagos en Chile Central, y por ello debería ser considerado a la hora de planificar un muestreo de este grupo de vertebrados. En este sentido, los mayores esfuerzos deberían concentrarse en noches de luna nueva donde se registra la mayor actividad de quirópteros a fin de generar inventarios más completos. También es necesario considerar la actividad temporal de las distintas especies y muestrear a lo largo de toda la noche o en puntos determinados de acuerdo a la actividad propia de la especie de murciélago en estudio.

### **Conclusiones**

Cuatro de las cinco especies de murciélagos insectívoros en estudio respondieron negativamente al incremento de luminosidad lunar, es decir presentaron fobia lunar, con la excepción de *T. brasiliensis*, lo que implica que el efecto de la luz lunar depende de la especie.

Los patrones temporales de actividad a lo largo de la noche de cuatro de las cinco especies en estudio no se vieron afectados en función del ciclo lunar. La única especie que modificó su patrón de actividad, concentró su actividad en las primeras horas de la noche en presencia de luna llena y homogéneamente en luna nueva. Esto indica que los patrones temporales de actividad pueden variar por otros factores además de la luz de la luna.

### Bibliografía

- Adam, M. D., Lacki, M. J., & Shoemaker, L. G. 1994. Influence of environmental conditions on flight activity of *Plecotus townsendii virginianus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Brimleyana*, 21: 77-85.
- Appel, G., López-Baucells, A., Magnusson, W.E., & Bobrowiec, P.E.D. 2017. Aerial insectivorous bat activity in relation to moonlight intensity. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde*, 85: 37-46.
- Arndt, R. J., O'Keefe, J. M., Mitchell, W. A., Holmes, J. B., & Lima, S. L. 2018. Do predators influence the behaviour of temperate-zone bats? An analysis of competing models of roost emergence times. *Animal behaviour*, 145: 161-170.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., & Grothendieck, G. 2011. Package 'lme4'. Linear mixed-effects models using S4 classes. R package version, 1-1.
- Breviglieri, C.P.B., 2011. Influência do dossel na atividade de morcegos (Chiroptera: Phyllostomidae) em três fragmentos no estado de São Paulo. *Chiroptera Neotropical* 17: 817–825.
- Canals, M., Grossi, B., Iriarte-Díaz, J. & Veloso, C. 2005. Biomechanical and ecological relationships of wing morphology of eight Chilean bats. *Revista Chilena de Historia Natural*, 78(2), 215-227.
- Cichocki, J., Łupicki, D., Bojarski, J., & Ważna, A. 2015. The impact of the moon phases on winter activity of the noctule bats *Nyctalus noctula*. *Polish Journal of Ecology*, 63(4): 616-623.
- Ciechanowski, M., Zając, T., Biłas, A., & Dunajski, R. 2007. Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics: effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology*, 85(12): 1249-1263.
- Elangovan, V., & Marimuthu, G. 2001. Effect of moonlight on the foraging behaviour of a megachiropteran bat *Cynopterus sphinx*. *Journal of Zoology*, 253(3): 347-350.
- Erkert, H.G. 1982. Ecological aspects of bat activity rhythms. In *Ecology of bats*. Springer, Boston, MA. 201-242.
- Esbérard, C.E.L. 2007. Influência do ciclo lunar na captura de morcegos Phyllostomidae. *Iheringia, Sér. Zool.* 97: 81–85.
- Fenton, M. B., Boyle, N. H., Harrison, T. M., & Oxley, D. J. 1977. Activity patterns, habitat use, and prey selection by some African insectivorous bats. *Biotropica*, 73-85.

- Hayes, J.P. 1997. Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation-monitoring studies. *Journal of Mammalogy*, 78(2): 514-524.
- Holland, R. a., Meyer, C.F.J., Kalko, E.K. V., Kays, R., Wikelski, M., 2011. Emergence time and foraging activity in Pallas' Mastiff Bat, *Molossus molossus* (Chiroptera: Molossidae) in relation to sunset/sunrise and phase of the Moon. *Acta Chiropterologica* 13: 399–404.
- Jones, G., & Rydell, J. 1994. Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 346(1318): 445-455.
- Karlsson, B. L., Eklöf, J., & Rydell, J. 2002. No lunar phobia in swarming insectivorous bats (family Vespertilionidae). *Journal of zoology*, 256(4): 473-477.
- Kronfeld-Schor N, Bloch G, Schwartz WJ. 2013. Animal clocks: when science meets nature. *Proc R Soc B* 280: 20131354
- Lang, A.B., Kalko, E.K., Römer, H., Bockholdt, C., & Dechmann, D. K. 2006. Activity levels of bats and katydids in relation to the lunar cycle. *Oecologia*, 146(4): 659-666.
- Leuchtenberger, C., de Oliveira, Ê. S., Cariolatto, L. P., & Kasper, C. B. 2018. Activity pattern of medium and large sized mammals and density estimates of *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae) in the Brazilian Pampa. *Brazilian Journal of Biology*.
- Lima, S.L., O'Keefe, J.M., 2013. Do predators influence the behaviour of bats? *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 88: 626–44.
- Mancina, C.A., 2008. Effect of moonlight on nocturnal activity of two Cuban nectarivores : the Greater Antillean long-tongued bat (*Monophyllus redmani*) and Poey's flower bat (*Phyllostomus poeyi*). *Bat Res. News* 49: 71–80.
- Mello, M. A., Kalko, E. K., & Silva, W. R. 2013. Effects of moonlight on the capturability of frugivorous phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) at different time scales. *Zoologia (Curitiba)*, 30(4): 397-402.
- Meyer, C. F., Schwarz, C. J., & Fahr, J. 2004. Activity patterns and habitat preferences of insectivorous bats in a West African forest–savanna mosaic. *Journal of Tropical Ecology*, 20(4): 397-407.
- Milne, D.J., Fisher, A., Rainey, I., & Pavey, C.R. 2005. Temporal patterns of bats in the top end of the Northern Territory, Australia. *Journal of Mammalogy*, 86(5): 909-920.
- Morrison, D. W. 1978. Lunar phobia in a neotropical fruit bat, *Artibeus jamaicensis* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Animal Behaviour*, 26: 852-855.

Negraeff, O. E., & Brigham, R. M. 1995. The influence of moonlight on the activity of little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 60(6): 330-336.

Parsons, K. N., Jones, G., & Greenaway, F. 2003. Swarming activity of temperate zone microchiropteran bats: effects of season, time of night and weather conditions. *Journal of Zoology*, 261(3): 257-264.

Rodríguez-San Pedro, A., 2014. Murciélagos de la Región Metropolitana de Santiago, Chile. Sección Biodiversidad y Recursos Naturales Renovables, SEREMI Metropolitana del Medio Ambiente.

Rodríguez-San Pedro, A., & Allendes, J. L. 2015. Depredación del murciélago de cola libre *Tadarida brasiliensis* (I. Geoffroy Saint Hilaire, 1824) por el cernícalo *Falco sparverius* Linnaeus, 1758, en un sector urbano de Santiago, Región Metropolitana, Chile. *Biodiversity and Natural History*, 1(1): 6-8.

Rodríguez-San Pedro, A., Allendes, J.L., & Ossa, G. 2016. Lista actualizada de los murciélagos de Chile con comentarios sobre taxonomía, ecología, y distribución. *Biodiversity and Natural History*, 2(1): 16-39.

Rodríguez-San Pedro, A., Chaperon, P.N., Beltrán, C.A., Allendes, J.L., Ávila, F.I. & Grez, A.A. 2018. Influence of agricultural management on bat activity and species richness in vineyards of central Chile. *Journal of Mammalogy*. 99: 1495-1502.

Rodríguez-San Pedro, A., & Simonetti, J. A. 2013 a. Acoustic identification of four species of bats (Order Chiroptera) in central Chile. *Bioacoustics*, 22(2): 165-172.

Rodríguez-San Pedro, A. & Simonetti, J. A. 2013 b. Foraging activity by bats in a fragmented landscape dominated by exotic pine plantations in central Chile. *Acta Chiropterologica*, 15(2): 393-398.

Rodríguez-San Pedro, A., & Simonetti, J. A. 2015. The relative influence of forest loss and fragmentation on insectivorous bats: does the type of matrix matter?. *Landscape ecology*, 30(8): 1561-1572.

Roeleke, M., Teige, T., Hoffmeister, U., Klingler, F., & Voigt, C. C. 2018. Aerial-hawking bats adjust their use of space to the lunar cycle. *Movement ecology*, 6(1): 11.

Rogers, D. S., Belk, M. C., González, M. W., & Coleman, B. L. 2006. Patterns of habitat use by bats along a riparian corridor in northern Utah. *The Southwestern Naturalist*, 51(1): 52-59.

Rydell, J., 1991. Seasonal use illuminated of areas by foraging northern bats *Eptesicus nilssonii*. *Holarct. Ecol.* 14: 203–207.

Saldaña-Vázquez, R.A., & Munguía-Rosas, M.A. 2013. Lunar phobia in bats and its ecological correlates: A meta-analysis. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde*, 78(3): 216-219.

Scanlon, A. T., & Petit, S. 2009. Effects of site, time, weather and light on urban bat activity and richness: considerations for survey effort. *Wildlife Research*, 35(8): 821-834.

Statistics Solutions, 2013. Test for Two Independent Samples [WWW Document]. Retrieved from <http://www.statisticssolutions.com/academic-solutions/resources/directory-of-statistical-analyses/tests-for-two-independent-samples/>

Stephan, F. K., & Zucker, I. 1972. Circadian rhythms in drinking behavior and locomotor activity of rats are eliminated by hypothalamic lesions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 69(6): 1583-1586.

Thies, W., Kalko, E. K., & Schnitzler, H. U. 2006. Influence of environment and resource availability on activity patterns of *Carollia castanea* (Phyllostomidae) in Panama. *Journal of Mammalogy*, 87(2): 331-338.