



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**Evaluación del efecto de vocalizaciones de aves rapaces sobre conductas
de roedores silvestres en la Araucanía**

Denise Marian Jara Stapfer

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico
Veterinario
Departamento de Ciencias
Biológicas Animales

PROFESOR GUÍA: André Víctor Rubio Carrasco
Universidad de Chile

PROYECTO FONDECYT 1180631

SANTIAGO, CHILE
2020



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**Evaluación del efecto de vocalizaciones de aves rapaces sobre conductas
de roedores silvestres en la Araucanía**

Denise Marian Jara Stapfer

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico
Veterinario
Departamento de Ciencias
Biológicas Animales

Nota Final

Prof. Guía:	André Rubio	Firma.....
Profesora Correctora:	Tamara Tadich	Firma.....
Profesor Corrector:	Rigoberto Solis	Firma.....

SANTIAGO, CHILE

2020

AGRADECIMIENTOS

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
Depredación y conductas antidepredatorias en roedores.....	3
Control ecológico de roedores a través de sus depredadores	4
Roedores de Chile y sus depredadores	4
Percepción de riesgo de depredación en roedores chilenos.....	5
Características del chuncho (<i>Glaucidium nanum</i>) y el concón (<i>Strix rufipes</i>).....	6
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
MATERIALES Y MÉTODOS	8
1. Área de estudio	8
2. Diseño de estudio	8
3. Montaje de cámaras trampa.....	8
4. Simulación de la presencia de depredadores mediante “playbacks”	9
5. Análisis conductual de los roedores	10
6. Análisis de microhábitat	10
7. Luminosidad lunar	11
8. Análisis estadístico	11
RESULTADOS	13
1. Análisis conductual de <i>Abrothrix</i> spp.....	13
2. Análisis conductual de <i>Oligoryzomys longicaudatus</i>	18
3. Análisis conductual de <i>Rattus rattus</i>	21
4. Análisis comparativo entre especies de roedores	25
DISCUSIÓN	31
CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFIA	38
ANEXOS	444

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo lineal de la variable tiempo de movimiento lento de <i>Abrothrix</i> spp.	14
Tabla 2. Modelo lineal de la variable tiempo de movimiento rápido de <i>Abrothrix</i> spp.	15
Tabla 3. Modelo lineal de la variable tiempo de movimiento total de <i>Abrothrix</i> spp.	16
Tabla 4. Modelo lineal de la variable tiempo de vigilancia de <i>Abrothrix</i> spp.	17
Tabla 5. MLG de la variable número de veces que desaparece de la cámara de <i>Abrothrix</i> spp.	18
Tabla 6. MLG de la variable número de contactos con comida de <i>Oligoryzomys longicaudatus</i> ...	18
Tabla 7. Modelo lineal de la variable movimiento lento de <i>Oligoryzomys longicaudatus</i>	19
Tabla 8. Modelo lineal de la variable movimiento total de <i>Oligoryzomys longicaudatus</i>	20
Tabla 9. Modelo lineal de la variable tiempo vigilancia de <i>Oligoryzomys longicaudatus</i>	21
Tabla 10. Modelo lineal de la variable tiempo comiendo de <i>Rattus rattus</i>	22
Tabla 11. Modelo lineal de la variable tiempo en comedero de <i>Rattus rattus</i>	23
Tabla 12. Modelo lineal de la variable movimiento lento de <i>Rattus rattus</i>	24
Tabla 13. MLG de la variable desaparece de cámara de <i>Rattus rattus</i>	24
Tabla 14. Modelo lineal de la variable movimiento lento entre especies.	26
Tabla 15. Modelo lineal de la variable movimiento total entre especie.	26
Tabla 16. Modelo lineal de la variable tiempo de vigilancia según especie	27
Tabla 17. Modelo lineal de la variable tiempo comiendo según especie.	27
Tabla 18. Modelo lineal de la variable tiempo en el comedero según especie.	28
Tabla 19. Modelo lineal de la variable tiempo movimiento rápido según especie.	29
Tabla 20. MLG de la variable número de contactos con la comida según especie.	29
Tabla 21. MLG de la variable número de contactos con la comida según especie.	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Boxplot de proporción de tiempo de movimiento lento de <i>Abrothrix</i> spp.	14
Figura 2. Boxplot de proporción de movimiento rápido de <i>Abrothrix</i> spp.	15
Figura 3. Boxplot de proporción de tiempo de movimiento total de <i>Abrothrix</i> spp.	16
Figura 4. Boxplot de proporción de tiempo de vigilancia de <i>Abrothrix</i> spp.	17
Figura 5. Boxplot de proporción de tiempo movimiento lento de <i>O. longicaudatus</i>	19
Figura 6. Boxplot de proporción de movimiento total de <i>O. longicaudatus</i>	20
Figura 7. Boxplot proporción tiempo de vigilancia de <i>O. longicaudatus</i>	21
Figura 8. Boxplot de proporción tiempo comiendo de <i>R. rattus</i>	22
Figura 9. Boxplot de proporción tiempo en comedero de <i>R. rattus</i>	23
Figura 10. Boxplot de proporción de movimiento lento en <i>R. rattus</i>	24
Figura 11. Boxplot de desaparecer de cámara de <i>R. rattus</i>	25

RESUMEN

Los roedores pueden percibir el riesgo de depredación a través de señales auditivas de sus depredadores, como por ejemplo, las vocalizaciones de aves rapaces. En Chile, existen pocos estudios acerca del efecto de las señales emitidas por aves rapaces sobre conductas antidepredatorias en roedores silvestres. Es por ello que en esta Memoria de Título se evaluó el efecto de las vocalizaciones de dos aves rapaces sobre conductas de roedores en un bosque de la Región de la Araucanía. Se realizó un experimento de campo con tres tratamientos; (1) sin sonido (control), (2) vocalizaciones de chuncho (*Glaucidium nanum*) y (3) vocalizaciones de concón (*Strix rufipes*). Se instalaron 8 estaciones forrajeras por cada tratamiento y en cada estación se instaló una cámara trampa durante 3 noches. A través de los videos registrados, se analizaron conductas comúnmente utilizadas en estudios de percepción del riesgo (conductas de forrajeo, conductas de movimiento y tiempo de vigilancia). Para los análisis se incluyeron además variables de microhábitat y luminosidad lunar (señales indirectas de riesgo de depredación). Se analizaron 831 eventos (e.g. videos dentro de un intervalo de cinco minutos), correspondientes a los roedores nativos *Abrothrix* spp., *Oligoryzomys longicaudatus* y a la especie introducida *Rattus rattus*. Los resultados indicaron que las vocalizaciones del chuncho y concón producen respuestas conductuales en los roedores estudiados, donde se sugiere que *Abrothrix* spp. y *R. rattus* percibirían mayor percepción de riesgo de depredación frente a las vocalizaciones de concón, mientras que *O. longicaudatus* percibiría mayor riesgo de depredación frente a las vocalizaciones de chuncho. Los roedores también respondieron conductualmente a las señales indirectas de riesgo de depredación. *Rattus rattus* fue la única especie que mostró cambios significativos en sus conductas de forrajeo, mientras que los tres roedores presentaron cambios en conductas de movimiento frente a las vocalizaciones. Las especies nativas presentaron además cambios en su tiempo de vigilancia. Estas diferencias en los cambios comportamentales puede deberse al tamaño corporal y tipo de locomoción de las especies analizadas. La información generada en este estudio puede ser de ayuda para potenciales estrategias de manejo de roedores mediante el uso del paisaje del miedo.

Palabras clave: aves rapaces, conducta antidepredatoria, percepción del riesgo, roedores silvestres

SUMMARY

Rodents can perceive the risk of predation through auditory signals from their predators, such as vocalizations of raptors birds (avian predators). In Chile, studies on the effect of raptors vocalizations on antipredatory behaviors in wild rodents are lacking. For this reason, this study aimed to assess the effect of vocalizations of two raptor birds on rodent's behavior in a forest from the Araucanía Region. A field experiment with three treatments was conducted, using; (1) no sound (control), (2) vocalizations of the Austral Pygmy Owl (*Glaucidium nanum*) and (3) vocalizations of the Rufous-legged Owl (*Strix rufipes*). Eight foraging stations were installed for each treatment and a camera trap was installed for 3 nights in each station. Using the video recordings registered, we analyzed behaviors that are commonly used in studies of perception risk (foraging behaviors, movement behaviors and vigilance). Variables of microhabitat and lunar luminosity (indirect signs of predation risk) were also included in the analyses. A total of 831 events (e.g. all recordings that occurred within a 5-minute interval) were analyzed, corresponding to *Abrothrix* spp., *Oligoryzomys longicaudatus* (native rodents) and the introduced rodent *Rattus rattus*. Results indicated that the vocalizations of the Austral pygmy owl and Rufous-legged owl produce behavioral responses in the rodents studied, where it is suggested that *Abrothrix* spp. and *R. rattus* would perceive a higher predation risk with Rufous-legged Owl vocalizations, while *O. longicaudatus* would perceive a higher risk of predation with Austral Pygmy Owl vocalizations. Rodents also responded to indirect signs of predation risk. *Rattus rattus* was the only species that showed significant changes in their foraging behaviors, while all three rodents showed changes in movement behaviors when vocalizations were used. The native species also presented changes in their vigilance time. These differences in behavioral responses may be due to differences of body size and type of locomotion of the analyzed species. The information generated in this study can be helpful for potential rodent management strategies through the use the landscape of fear.

Key words: raptors birds, antipredator behavior, risk perception, wild rodents

INTRODUCCIÓN

La capacidad que tiene un ser vivo para captar e interpretar señales comunicativas de su entorno es determinante para su adecuación biológica, ya que afectará tanto a su sobrevivencia como a su éxito reproductivo (Dall *et al.*, 2005). Estas señales son muy variadas y se adaptan al contexto en el que se desarrolla la comunicación, pudiendo ser señales químicas, visuales, táctiles y auditivas. Las especies presa pueden percibir el riesgo de depredación en respuesta a señales que emanan sus depredadores (Eilam *et al.*, 1999; Hayes *et al.*, 2006a). Por ejemplo, son capaces de detectar la presencia de depredadores a través de señales químicas presentes en la orina y heces de éstos (Fendt, 2006), así como también pueden percibir el riesgo de depredación al detectar vocalizaciones de sus depredadores (Hettner *et al.*, 2014).

Los roedores representan el 43% de las especies de mamíferos vivos en el mundo (Meerburg *et al.*, 2009) y son elementos claves en las cadenas tróficas, siendo importantes presas de muchos carnívoros, aves rapaces y otros vertebrados. Diversos estudios han demostrado que los roedores pueden percibir el riesgo de depredación frente a señales auditivas, visuales y olfativas de sus depredadores (Navarro-Castilla y Barja, 2014), frente a lo cual pueden desarrollar estrategias conductuales antidepredatorias, por ejemplo, la modificación de sus actividades de forrajeo, sociabilidad, uso del hábitat (Verplancke *et al.*, 2010), así como ataques defensivos a su depredador y respuestas de fuga (Hernández *et al.*, 2018). Dado que muchas especies de roedores pueden ser plagas para la agricultura y también reservorios de patógenos zoonóticos, las distintas señales químicas, auditivas y visuales de sus depredadores pueden ser usadas como herramientas para el manejo de roedores. Esto se enmarca en el contexto de generar un paisaje del miedo (del inglés *landscape of fear*) (Krijger *et al.*, 2017).

En la zona sur de Chile, específicamente en las regiones que abarcan el bosque templado lluvioso, existen especies de roedores nativos e introducidos que son reservorios para distintos patógenos zoonóticos y que también pueden habitar agroecosistemas y zonas peridomésticas (Muñoz-Pedreras, 2019). Es por ello que estudios que evalúen la percepción del riesgo de depredación de estos roedores frente a las señales emitidas por sus depredadores (i.e. químicas, auditivas, visuales) pueden servir como base para potenciales estrategias de

manejo de roedores mediante el uso del paisaje del miedo. Sin embargo, en Chile existen pocos estudios acerca del efecto de las señales emitidas por depredadores sobre conductas en roedores (Nakano *et al.*, 2013).

Con base a los antecedentes expuestos, en esta Memoria de Título se realizó un experimento de campo en un bosque templado en la Región de la Araucanía, donde se analizó el efecto de las vocalizaciones de dos aves rapaces nativas del bosque templado (*Glaucidium nanum*) y (*Strix rufipes*) sobre diferentes conductas de roedores silvestres.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Depredación y conductas antidepredatorias en roedores

En la naturaleza, los animales están expuestos a una amplia gama de amenazas y peligros, entre los cuales se encuentra la depredación (Kavaliers y Choleris, 2002). La depredación es el proceso por el cual un depredador es capaz de matar y aprovechar energéticamente la materia de la especie presa (Abrams, 2000). Es por ello que las especies presas pueden presentar características morfológicas que sirven para prevenir la depredación (e.g. espinas y armaduras), y también cambios comportamentales como evitación, mayor vigilancia, ocultamiento y huida. También existen mecanismos secundarios de defensa cuando el depredador está cerca y ya han detectado a su presa, como conductas de escape y/o sabores desagradables (Apfelbach *et al.*, 2005; Huffard, 2006).

En los micromamíferos, los cambios comportamentales son una de las estrategias antidepredatorias más comunes (Apfelbach *et al.*, 2005). Estos cambios incluyen la evitación directa del olor del depredador, modificaciones en sus actividades diarias de forrajeo, sociabilidad, reproducción y uso del hábitat (Navarro-Castilla y Barja, 2014). Las modificaciones diarias de forrajeo son importantes, ya que el forrajeo es una actividad energéticamente necesaria, pero que expone a la presa ante los depredadores. De acuerdo con la hipótesis de asignación de riesgos (risk allocation hypothesis), propuesta por Lima y Bednekoff (1999), los animales destinan más tiempo a alimentarse cuando el riesgo de depredación es bajo, reduciendo dicho tiempo cuando el riesgo aumenta.

En los mamíferos, las señales quimiosensoriales, visuales y auditivas desempeñan un papel particularmente importante en la mayoría de las interacciones intraespecíficas o interespecíficas (Gorman, 1990). Las especies presa pueden ser capaces de discriminar a sus depredadores a través de las señales anteriormente mencionadas desde el nacimiento, o también pueden ser aprendidas (Hettena *et al.*, 2014). Se ha demostrado que los olores de carnívoros que derivan de la orina, heces y secreciones glandulares olorosas, inducen una amplia variedad de respuestas defensivas en roedores, como también las vocalizaciones de depredadores (Hettena *et al.*, 2014; Sánchez-González *et al.*, 2017). La mayoría de los depredadores no vocalizan mientras cazan, pero se ha reportado que muchas especies responden a los sonidos de sus depredadores teniendo como respuesta una conducta

antidepredatoria (Blumstein *et al.*, 2008). En el caso de los roedores, Kindermann *et al.* (2009) sugiere que los roedores murinos no nacen con la capacidad de discriminar a los depredadores a través de sus vocalizaciones, si no, que se adquiere un comportamiento adecuado contra ellos mediante interacciones directas con los depredadores durante la vida de un individuo.

Control ecológico de roedores a través de sus depredadores

En muchas partes del mundo algunas especies de roedores son reconocidos como plaga. Destruyen cultivos, infraestructuras y muchos también son reservorios de agentes zoonóticos, pudiendo generar un impacto significativo en la salud pública (Meerburg *et al.*, 2009). La eficacia de los métodos convencionales de control de roedores, como la labranza, el saneamiento, la captura y las aplicaciones de rodenticidas es limitado (Stenseth *et al.*, 2003). Por ejemplo, la aplicación de rodenticidas es con frecuencia ineficaz debido a la rápida inmigración de roedores de las zonas adyacentes no tratadas y porque los brotes poblacionales de roedores son usualmente impredecibles (Kan *et al.*, 2013). Además, los rodenticidas pueden causar efectos nocivos en fauna silvestre no objetivo del control (Eason *et al.*, 2002). Una medida alternativa para el control de roedores es usar un método basado en la ecología y etología de ellos usando sus respuestas antidepredatorias como herramienta para su manejo. Debido a que los roedores pueden percibir el riesgo de depredación frente a señales auditivas, visuales y olfativas de sus depredadores (Navarro-Castilla y Barja, 2014; Sánchez-González *et al.*, 2017), se puede generar un paisaje del miedo (del inglés landscape of fear) el cual es un mapeo de la variación espacial en el costo de forrajeo que surge del riesgo de depredación y refleja los niveles de miedo que una especie presa percibe en diferentes lugares dentro de su ámbito de hogar (Krijger *et al.*, 2017).

Roedores de Chile y sus depredadores

En Chile existen alrededor de 69 especies del orden Rodentia, de las cuales 63 especies son nativas y seis son especies introducidas. En el sur del país, específicamente en la Región de la Araucanía, podemos encontrar especies nativas como *Abrothrix olivaceus*, *A. longipilis* y *Oligoryzomys longicaudatus*, como también especies introducidas como *Rattus rattus*. Estos

micromamíferos son elementos importantes en la cadena trófica, siendo presas de diversas especies, por ejemplo: lechuza blanca (*Tyto alba*), pequén (*Athene cunicularia*), concón (*Strix rufipes*), chuncho (*Glaucidium nanum*), tucúquere magallánico (*Bubo magallanicus*), milano bailarín (*Elanus leaucurs*), cernícalo (*Falco sparverius*), zorros (*Lycalopex* sp.), quiques (*Galictis cuja*), entre otros (Muñoz-Pedreros y Gil, 2009; Muñoz-Pedreros, 2019). Las aves rapaces son uno de los mayores depredadores de diversas especies del orden Rodentia, lo que las convierte en especies que pueden ser útiles para el control de plagas de roedores (Muñoz-Pedreros, 2019).

Percepción de riesgo de depredación en roedores chilenos

En Chile, se han hecho investigaciones sobre la percepción del riesgo en algunas especies nativas como por ejemplo: *Phyllotis darwini*, *Octodon degus*, *Abrothix olivaceus* y *Oligoryzomys longicaudatus*. En la mayoría de estos estudios se evaluaron señales indirectas de depredación como hábitat e iluminación, en donde algunas especies exhiben una preferencia por microhábitats cubiertos y menos iluminados cuando el riesgo de depredación es aparente (Vásquez, 1994; Vásquez, *et al.*, 2001). Por el contrario, en Chile existen pocos estudios acerca del efecto de las señales auditivas emitidas por depredadores (señales directas) sobre conductas en roedores nativos. Uno de los pocos estudios relacionados a lo anterior, es una investigación de Nakano *et al.* (2013) en donde compara el tiempo de vigilancia de *O. degus* cuando están bajo llamadas de alarma de su misma especie y cuando están expuestos a vocalizaciones del halcón de Harris (*Parabuteo unicinctus*). Sus resultados indican que los *O. degus* responden a las vocalizaciones del halcón de Harris con un tiempo de vigilancia similar con respecto a las vocalizaciones de alarma de adultos de su misma especie y respondiendo con menor tiempo de vigilancia a las vocalizaciones de llamada de apareamiento. Estos datos son importantes, ya que aporta información respecto a que las llamadas de alarma y las vocalizaciones de depredadores en un grupo social de roedores puede inducir conductas que podrían mejorar su probabilidad de supervivencia frente a las amenazas de depredación (Nakano *et al.*, 2013).

Características del chuncho (*Glaucidium nanum*) y el concón (*Strix rufipes*)

En Chile habitan 35 especies de aves rapaces, de las cuales hay diurnas y nocturnas. Algunas de las especies de aves nocturnas que podemos encontrar en la Región de la Araucanía son *Glaucidium nanum* y *Strix rufipes*. El chuncho (*G. nanum*) se distribuye desde la Región de Atacama hasta Tierra del Fuego. Habita en todos los ambientes arbolados, desde el nivel del mar hasta aproximadamente 2000 m.s.m. Es una especie que resulta común observar en zonas urbanas. Es un depredador oportunista, diurno y nocturno. En la Región de la Araucanía se le ha observado cazando durante el día, con una mayor actividad en la mañana, pero aparentemente son más activos en la caza durante las noches con luna. Se ha podido registrar que el chuncho es depredador del zorzal (*Turdus falcklandii*), chucao (*Scelorchilus rubecula*), monito del monte (*Dromiciops gliroides*), rata negra (*Rattus rattus*) y de otros micromamíferos (Ibarra *et al.*, 2014; Ibarra *et al.*, 2015). El concón (*S. rufipes*) habita principalmente en bosques nativos maduros, se le encuentra en zonas bajas y fondos de quebradas donde el bosque es más denso y desarrollado. En la región de la Araucanía se ha registrado asociado de preferencia a bosques con árboles altos y abundante sotobosque de quila. Consume principalmente roedores, insectos, aves y ocasionalmente anfibios y reptiles. En la zona centro y sur de Chile es depredador importante de *Rattus* spp., *Oligoryzomys longicaudatus*, *Irenomys tarsalis* y *Dromiciops australis* (Pavéz, 2019).

Con base a los antecedentes expuestos, investigaciones que evalúen las respuestas de roedores a las vocalizaciones de distintas aves rapaces pueden aportar información relevante para potenciales usos en lo que respecta el manejo de roedores. En Chile, los estudios sobre esta temática son escasos (Nakano *et al.*, 2013). Por lo tanto, esta Memoria de Título pretende aportar en esta área al evaluar el efecto de vocalizaciones de chuncho y concón sobre conductas de roedores que habitan bosques templados del sur de Chile.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de las vocalizaciones de las aves rapaces *G. nanum* y *S. rufipes* sobre conductas de roedores silvestres en un bosque templado de la Región de la Araucanía.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Comparar el efecto de las vocalizaciones de *G. nanum* y de *S. rufipes* sobre conductas de forrajeo y movimiento de roedores.

2. Comparar las respuestas conductuales a las vocalizaciones de aves rapaces entre especies de roedores.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la cuenca del lago Villarrica (39°16' S, 71°48' O), Región de La Araucanía, sur de Chile. Esta área tiene un clima templado con una estación seca de corta duración (<4 meses) en verano (enero-marzo) y precipitaciones medias de 2.000 mm/año. La vegetación comprende bosques con dominio de roble (*Lophozonia obliqua*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*), asociados principalmente a laurel (*Laurelia sempervirens*), olivillo (*Aextoxicon punctatum*), ulmo (*Eucryphia cordifolia*) y lingue (*Persea lingue*). Los asentamientos humanos más grandes en el área de estudio son Pucón, Caburgua y Villa San Pedro (Caviedes e Ibarra, 2017).

2. Diseño de estudio

Durante el mes de mayo 2019 se realizó un estudio experimental de campo con tres tipos de tratamientos: (1) sin sonido (control), (2) vocalizaciones de chuncho (*G. nanum*) y (3) vocalizaciones de concón (*S. rufipes*). Para cada tratamiento se instalaron estaciones forrajeras donde se grabaron videos de los roedores que se acercaron a alimentarse. Las estaciones forrajeras consistieron en avena con esencia de vainilla dispuestas en una placa Petri instalada en el suelo del bosque. Para los tratamientos 2 y 3, se instaló además un parlante el cual estuvo emitiendo “playbacks” de vocalizaciones de las aves respectivas.

Para cada tratamiento se instalaron 8 estaciones forrajeras que se consideraron independientes entre sí, totalizando 24 estaciones para todo el estudio. Cada estación estuvo separada de otra por al menos 25 metros (Hayes *et al.*, 2006b).

3. Montaje de cámaras trampa

Para la grabación de videos de roedores en las estaciones forrajeras, se utilizaron cámaras trampa infrarrojas (Bushnell Trophy Cam). Estas cámaras estuvieron montadas a 1,5 metros del suelo de forma horizontal en la parte superior de un tubo PVC con forma de L invertida. De esta forma se pudo identificar la especie del roedor capturado por la cámara, ya que es

posible distinguir de una manera precisa la longitud de la cola, morfología del hocico y tamaño de los individuos (McDonald *et al.*, 2015). Las cámaras permanecieron activadas durante tres noches consecutivas y se configuraron para grabar un video de 30 segundos después de cada “disparo” (activación de cámara por movimiento de los animales). Para minimizar los disparos falsos y permitir videos sin obstáculos, se limpió la vegetación densa dentro del campo de visión de la cámara (Kindermann *et al.*, 2009; Nersesian *et al.*, 2012; Kuijper *et al.*, 2014).

4. Simulación de la presencia de depredadores mediante “playbacks” (estímulo acústico)

Para simular la presencia de un depredador en el experimento, se emitieron vocalizaciones de chuncho y del concón según el tratamiento, a través de “playbacks”. El equipo que emitió las vocalizaciones fue un parlante JBL Charge 3 conectado a un reproductor mp3 que contenía los archivos de las vocalizaciones. Este parlante puede emitir sonidos desde los 65Hz hasta los 20 kHz. Estos playbacks fueron grabaciones extraídas de la página web <https://www.xeno-canto.org> y grabaciones proporcionadas por Tomás Ibarra (Pontificia Universidad Católica de Chile). El parlante que emitió estas vocalizaciones estuvo montado sobre una estructura de madera con techo a dos metros de altura del suelo y a una distancia de 12,5 metros entre el parlante y la estación forrajera. Los archivos de sonido tuvieron una duración de aproximadamente 20 minutos, de los cuales se emitieron vocalizaciones alternadas por un lapso de un minuto hasta tres minutos, con un silencio de un minuto hasta cinco minutos máximos (Kindermann *et al.*, 2009). Estos “playbacks” funcionaron desde el atardecer hasta el amanecer de forma continua. Debido a que las aves rapaces nocturnas no emiten vocalizaciones al cazar, en el caso del chuncho se emitieron sus tres tipos de vocalizaciones más comunes: (1) llamada de apareamiento o contacto de pareja, (2) llamada de agresión y (3) vocalización de los juveniles. En el caso del concón, se emitieron dos tipos de vocalizaciones: (1) llamada de localización, utilizada para delimitar el territorio y mantener los lazos de pareja y (2) llamada de desafío o de localización agitada. Las vocalizaciones se emitieron de forma aleatoria (Norambuena *et al.*, 2012). El sonido era audible por las personas en terreno en todas las estaciones forrajeras.

5. Análisis conductual de los roedores

Las conductas de los roedores fueron analizadas a través de los videos filmados por las cámaras trampa. Para propósitos del presente estudio, se organizaron los videos por “eventos”. Un evento fue considerado un video o varios videos dentro de un intervalo de cinco minutos. Un intervalo de más de cinco minutos entre dos grabaciones fue considerado como eventos distintos (Kuijper *et al.*, 2014). Las variables que se analizaron fueron conductas que usualmente se usan en estudios de percepción de riesgos de depredadores: (1) tiempo comiendo, (2) tiempo en el comedero, (3) número de contacto con comida, (4) tiempo de vigilancia, (5) movimiento rápido, (6) movimiento lento, (7) movimiento total y (8) desaparece de cámara. A continuación de detalla cada variable: (1) Tiempo comiendo: es todo momento en que el animal se encuentra masticando. (2) Tiempo en el comedero: es todo momento en que el animal se detiene en el área del comedero. (3) Número de contacto con comida: se refiere al número de veces en que el animal agarra el cebo. (4) Tiempo de vigilancia: es todo momento en que el animal está con la cabeza y orejas erguidas mirando a su alrededor. (5) Movimiento rápido: cuando el animal está corriendo y/o tiene conducta de fuga (apuro repentino cuando un animal pasó de estar quieto a correr). (6) Movimiento lento: cuando el animal se encuentra desplazándose a otro lugar caminando. (7) Movimiento total: es la suma de tiempo entre movimiento lento y movimiento rápido. (8) Desaparece de cámara: es el número de veces que el animal desaparece de la cámara (Kindermann *et al.*, 2009; Nersesian *et al.*, 2012; Kuijper *et al.*, 2014). Las variables (1), (2), (4), (5), (6) y (7) se midieron en segundos, y las variables (3) y (8) se midieron en números de veces (conteos).

6. Análisis de microhábitat

Los roedores también responden a señales indirectas de riesgo de depredación, por ejemplo a la cobertura vegetal. En general prefieren forrajear en lugares con mayor cobertura vegetal donde los riesgos de depredación por aves rapaces son menores (Orrock *et al.*, 2004). Por lo tanto, se realizó un análisis de microhábitat en cada estación forrajera. Para ello se midió la vegetación en una cuadrícula de 1m² donde el centro fue la placa Petri. Se estimó la cobertura de arbustos, hierbas y cubierta de materia orgánica en el suelo. También se midió la distancia lineal más cercana desde la placa Petri al borde del arbusto más cercano (arbusto

mayor a 50 cm de diámetro de corona). Además, se midió la altura de la vegetación al centro de la placa Petri y en cada esquina de la cuadrícula para así estimar el promedio de altura de vegetación (Crego *et al.*, 2018).

7. Luminosidad lunar

La luminosidad de la luna también es una señal indirecta de riesgo de depredación. Los pequeños mamíferos pueden percibir la iluminación como un mayor riesgo de depredación (Kotler *et al.*, 2010). Esto es porque una mayor luminosidad de la luna hace que los individuos sean más visibles o detectables por sus depredadores (Kotler *et al.*, 1991; Longland y Price, 1991), por lo que los roedores evitarían las noches iluminadas (Penteriani *et al.*, 2013). Por lo tanto, se incluyó en los análisis la fase lunar medida en porcentaje. Estos datos se obtuvieron de la página web <https://www.vercalendario.info/es/luna/chile-ano-calendario-2019.html>.

8. Análisis estadístico

Para comparar y analizar las respuestas conductuales de los roedores a las vocalizaciones de aves rapaces, se utilizaron modelos lineales generalizados y modelos lineales según especie de roedor. Para cumplir con el objetivo específico 1, cada variable conductual (número de contacto con la comida, tiempo comiendo, tiempo en el comedero, tiempo vigilando, movimiento rápido, movimiento lento, movimiento total y desaparece de cámara) fueron las variables dependientes. Los tres tratamientos (*G. nanum*, *S. rufipes* y control), las variables de microhábitat y la fase de la luna fueron las variables independientes dentro de cada modelo. Para las variables de microhábitat, se realizó previamente un análisis de correlación de Spearman para eliminar variables que estén altamente correlacionadas (coeficiente de correlación (r) > 0,8). Dado que en ningún caso se obtuvo un valor de r sobre ese valor, todas las variables de microhábitat se mantuvieron.

Para cada variable conductual se realizaron distintos modelos y el modelo final fue elegido por el criterio de información de Akaike (AIC) y R^2 ajustado. En el caso de las variables tiempo comiendo, tiempo en el comedero, tiempo vigilando, movimiento rápido,

movimiento lento y movimiento total se usaron modelos lineales. Para la variable número de contactos con la comida se usó un modelo lineal generalizado tipo Poisson y para la variable desaparece de cámara se usó el modelo lineal generalizado de tipo Binomial negativo.

Para cumplir con el objetivo específico 2, se realizaron modelos lineales para comparar las respuestas conductuales entre especie de roedores. Para estos análisis solamente se incluyeron las variables independientes tratamiento de vocalizaciones y especie de roedor, analizando la interacción entre ambas variables.

Para poder comparar la proporción de tiempo que dedican a cada conducta bajo los diferentes tratamientos de riesgo de depredación, se usó en todos los modelos estadísticos el número de videos según evento como un “offset”. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa R usando los paquetes dplyr y ggplot.

RESULTADOS

Se analizaron un total de 2253 videos correspondientes a 978 eventos. Se excluyeron los videos donde no se podían observar correctamente la especie de roedor y las conductas de los individuos debido a algún problema visual del video. También se excluyeron los videos en que el cebo se había acabado. Considerando lo anterior, para el análisis final de este estudio se analizaron 2003 videos de los cuales hubieron 831 eventos en total. Dos especies (*Abrothrix olivaceus* y *A. longipilis*) se agruparon como *Abrothrix* spp. dada la dificultad de identificar a nivel de especie a estos roedores. Del total de eventos, 458 eventos (55%) correspondieron a *Abrothrix* spp., 165 eventos (20%) a *Oligoryzomys longicaudatus* y 208 eventos (25%) a *Rattus rattus*.

Para el cumplimiento del objetivo específico 1, a continuación se presentan los resultados de las variables conductuales por cada especie, en particular las variables donde se obtuvieron resultados significativos para el tratamiento de vocalizaciones. Para las variables que no resultaron ser significativas para ningún tratamiento de vocalización, los resultados se encuentran en la sección de Anexos. Todos los modelos estadísticos por cada variable conductual que se presentan a continuación fueron los seleccionados de acuerdo a los criterios mencionados en la metodología.

1. Análisis conductual de *Abrothrix* spp.

Las variables conductuales que presentaron cambios significativos bajo los efectos de las vocalizaciones de *Glaucidium nanum* o *Strix rufipes* fueron: Tiempo de movimiento lento, tiempo de movimiento rápido, tiempo de movimiento total, tiempo de vigilancia y número de veces que desaparece de cámara.

a) Movimiento lento: El tiempo destinado a la conducta de movimiento lento es significativamente mayor en el tratamiento del chuncho comparado con los otros dos tratamientos (Tabla 1; Figura 1). El mejor modelo no presentó variables de microhábitat significativas.

Tabla 1. Modelo lineal de la variable tiempo de movimiento lento de *Abrothrix* spp. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	0,940	0,589	1,594	0,100
Chuncho	3,826	0,716	5,341	<0,001
Concón	0,652	0,688	0,947	0,344
Arbustos	-7,534	5,431	-1,387	0,166
Hierba	-10,484	10,661	-0,983	0,326

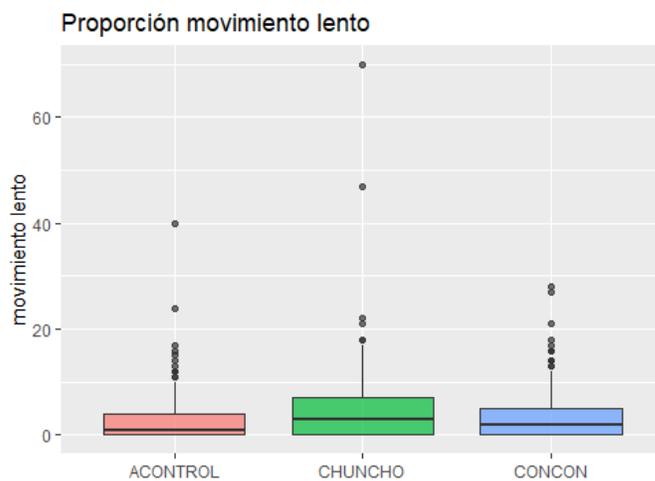


Figura 1. Boxplot de proporción de tiempo de movimiento lento de *Abrothrix* spp.

b) Tiempo de movimiento rápido: Esta conducta aumenta significativamente en el tratamiento concón. (Tabla 2; Figura 2). A medida que hay menos arbustos, menos altura promedio de la vegetación, menos distancia lineal al arbusto más cercano y menos hierba, aumentan los movimientos rápidos. A medida que hay más luz de luna aumentan los movimientos rápidos (Tabla 2).

Tabla 2. Modelo lineal de la variable tiempo de movimiento rápido de *Abrothrix* spp. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	10,567	3,360	3,145	0,002
Chuncho	-1,412	0,969	-1,457	0,146
Concón	2,936	0,899	3,266	0,001
Arbustos	-14,928	7,564	-1,974	0,049
Distancia lineal	-0,008	0,002	-3,728	<0,001
Hierba	-80,750	16,501	-4,894	<0,001
Hojas y Materia orgánica	-5,910	3,168	-1,866	0,063
Prom. altura de vegetación	-0,055	0,015	-3,752	0,000
Luna	8,608	1,781	4,832	<0,001

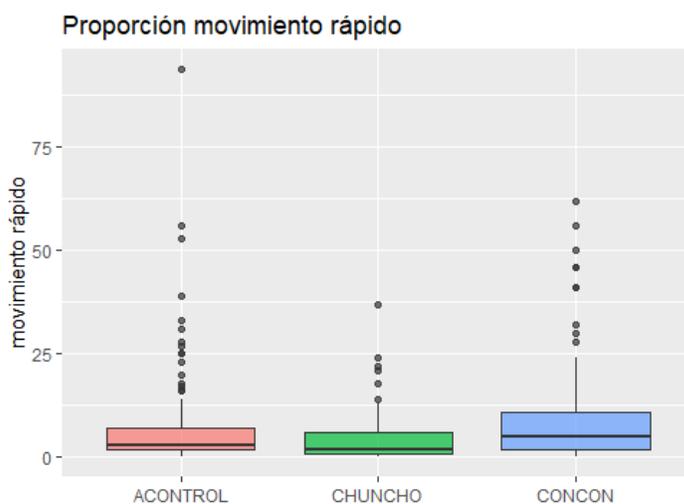


Figura 2. Boxplot de proporción de movimiento rápido de *Abrothrix* spp.

c) Tiempo movimiento total: El movimiento total aumenta significativamente en el tratamiento del concón (Tabla 3, Figura 3). Los *Abrothrix* spp. pasan menos tiempo moviéndose a medida que hay más hierba, mayor promedio de la altura de vegetación y mayor distancia lineal al arbusto más cercano. Además, el movimiento total aumenta a medida que hay más luminosidad lunar (Tabla 3).

Tabla 3. Modelo lineal de la variable tiempo de movimiento total de *Abrothrix* spp. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	11,840	4,809	2,461	0,010
Chuncho	1,841	1,387	1,328	0,185
Concón	4,364	1,287	3,391	0,001
Arbustos	-21,120	10,830	-1,951	0,051
Distancia lineal	-0,009	0,003	-3,008	0,003
Hierba	-108,800	23,620	-4,607	<0,001
Hojas y Materia orgánica	-4,318	4,534	-0,952	0,342
Prom. altura de vegetación	-0,064	0,021	-3,046	0,002
Luna	11,810	2,550	4,630	<0,001

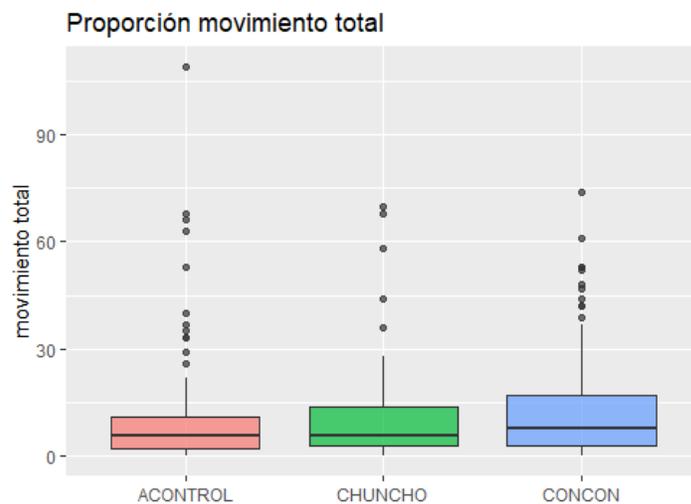


Figura 3. Boxplot de proporción de tiempo de movimiento total de *Abrothrix* spp.

d) Tiempo de vigilancia: El tiempo de vigilancia aumenta significativamente en el tratamiento del concón (Tabla 4; Figura 4). Además, esta conducta aumenta a medida que hay menos cobertura de hierbas y más luz de luna. Por el contrario, el tiempo de vigilancia disminuye a medida que hay menos hojas y materia orgánica (Tabla 4).

Tabla 4. Modelo lineal de la variable tiempo de vigilancia de *Abrothrix* spp. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	-9,722	4,957	-1,961	0,050
Chuncho	1,408	1,268	1,111	0,267
Concón	3,426	1,196	2,866	0,004
Distancia lineal	-0,004	0,003	-1,303	0,193
Hierba	-108,800	23,620	-4,607	<0,001
Hojas y Materia orgánica	10,369	4,730	2,192	0,029
Luna	12,874	2,664	4,833	<0,001

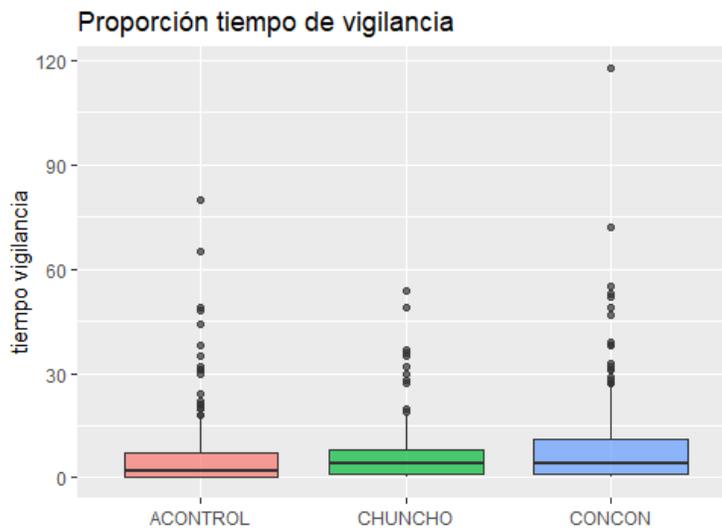


Figura 4. Boxplot de proporción de tiempo de vigilancia de *Abrothrix* spp.

e) Desaparece de cámara: Los *Abrothrix* spp. desaparecen significativamente más veces de cámara en el tratamiento del chuncho. A medida que la distancia lineal al arbusto más próximo es mayor, disminuyen las veces que desaparece de cámara. A medida que hay mayor cantidad de hierba, mayor altura promedio de la vegetación, más hojas y materia orgánica, desaparece menos de cámara (Tabla 5.).

Tabla 5. MLG de la variable número de veces que desaparece de la cámara de *Abrothrix* spp. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	1,464	0,358	4,088	<0,001
Chuncho	-0,545	0,111	-4,919	<0,001
Concón	-0,034	0,086	-0,391	0,696
Arbustos	1,365	0,871	1,567	0,117
Distancia lineal	-0,001	<0,001	-3,663	<0,001
Hierba	-9,439	1,764	-5,350	<0,001
Hojas y Materia orgánica	-0,860	0,337	-2,552	0,011
Prom. altura de vegetación	-0,008	0,002	-3,933	<0,0001

2. Análisis conductual de *Oligoryzomys longicaudatus*.

En *O. longicaudatus*, las variables que resultaron tener resultados significativos bajo los efectos de las vocalizaciones de *G. nanum* y *S. rufipes* fueron: Número de contactos con comida, tiempo de movimiento lento, tiempo de movimiento total y tiempo de vigilancia.

a) Número de contactos con comida: El número de contactos con la comida aumenta significativamente en el tratamiento del concón y en las noches con menos luz de luna (Tabla 6).

Tabla 6. MLG de la variable número de contactos con comida de *O. longicaudatus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	1,309	0,582	2,249	0,024
Chuncho	0,210	0,125	1,679	0,093
Concón	0,335	0,157	2,134	0,033
Hojas y Materia orgánica	-0,763	0,597	-1,278	0,201
Luna	-0,807	0,308	-2,623	0,009

b) Movimiento lento: El movimiento lento aumenta significativamente en el tratamiento del chuncho (Tabla 7; Figura 5).

Tabla 7. Modelo lineal de la variable movimiento lento de *O. longicaudatus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	2,925	1,174	2,492	0,014
Chuncho	0,707	1,094	3,390	0,001
Concón	1,019	1,329	0,767	0,444
Distancia lineal	-0,005	0,003	-1,495	0,137

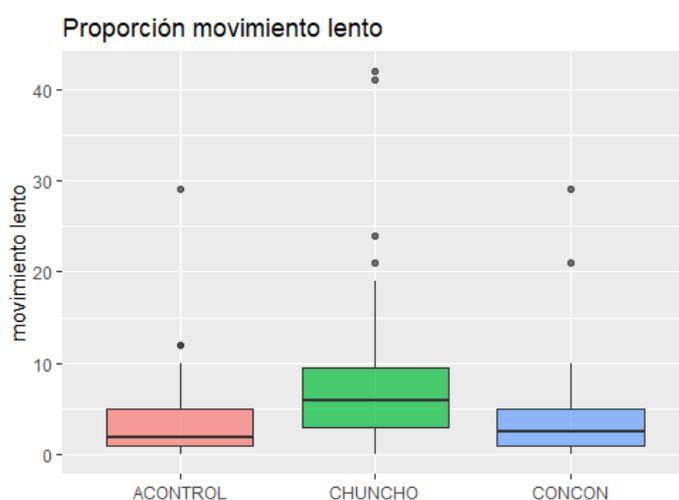


Figura 5. Boxplot de proporción de tiempo de movimiento lento de *O. longicaudatus*.

c) Tiempo movimiento total: Esta conducta aumenta significativamente en el tratamiento del chuncho (Tabla 8; Figura 6) y a medida que la distancia lineal al arbusto más cercano es menor (Tabla 7).

Tabla 8. Modelo lineal de la variable movimiento total de *O. longicaudatus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	21,689	9,029	2,402	0,017
Chuncho	3,906	1,914	2,040	0,043
Concón	3,442	2,310	1,490	0,138
Arbustos	-13,791	16,355	-0,843	0,400
Distancia lineal	-0,014	0,005	-2,702	0,008
Hojas y Materia orgánica	-13,262	9,775	-1,357	0,177
Prom. altura de vegetación	-0,155	0,129	-1,200	0,232

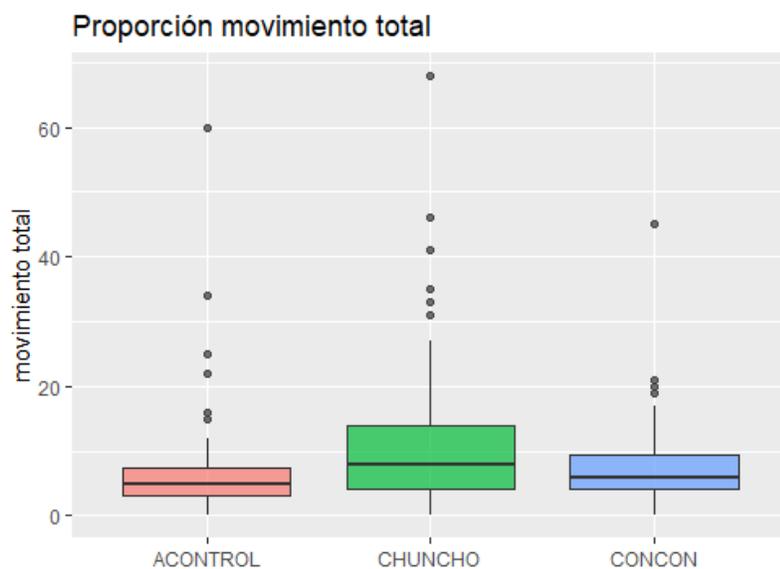


Figura 6. Boxplot de proporción de movimiento total de *O. longicaudatus*.

d) Tiempo de vigilancia: Esta conducta aumenta significativamente en el tratamiento del chuncho (Tabla 9; Figura 7), y a medida que la distancia lineal al arbusto más cercano es menor (Tabla 9).

Tabla 9. Modelo lineal de la variable tiempo vigilancia de *O.longicaudatus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	19,731	5,523	3,573	0,000
Chuncho	15,560	4,873	3,193	0,002
Concón	11,177	5,696	1,962	0,051
Distancia lineal	-0,033	0,014	-2,419	0,017
Prom. altura de vegetación	-0,512	0,308	-1,660	0,099

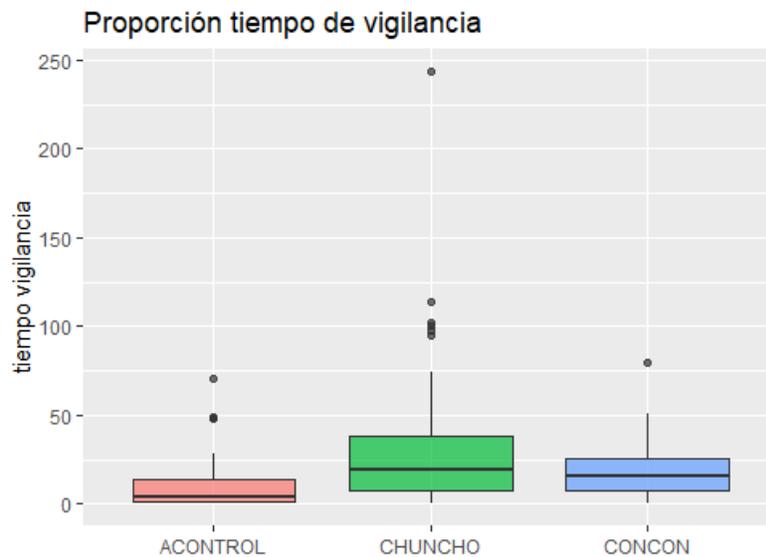


Figura 7. Boxplot proporción tiempo de vigilancia de *O. longicaudatus*.

3. Análisis conductual de *Rattus rattus*.

En el caso de *R. rattus*, las variables conductuales que presentaron cambios significativos bajo los efectos de las vocalizaciones de *Glaucidium nanum* o *Strix rufipes* fueron: Tiempo comiendo, tiempo en zona del comedero, movimiento lento y número de veces que desaparece de cámara.

a) Tiempo comiendo: El tiempo comiendo disminuye significativamente en el tratamiento del concón (Tabla 10; Figura 8) y a medida que hay menos luna (Tabla 10).

Tabla 10. Modelo lineal de la variable tiempo comiendo de *R. rattus*. Las variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	12,840	6,650	1,931	0,055
Chuncho	1,433	6,257	0,229	0,819
Concón	-14,164	5,961	-2,376	0,018
Arbustos	65,327	37,803	1,728	0,086
Luna	27,441	10,899	2,518	0,013

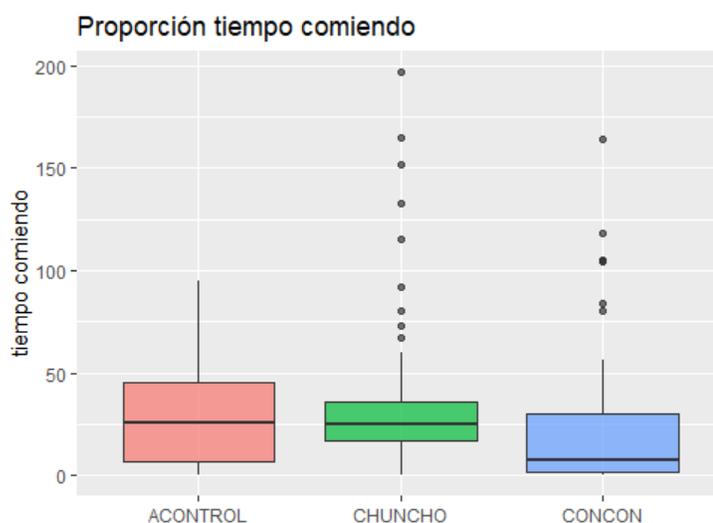


Figura 8. Boxplot de proporción tiempo comiendo de *R. rattus*.

b) Tiempo en el comedero: Esta variable conductual disminuye significativamente en el tratamiento del concón (Tabla 11; Figura 9). Además, a medida que hay más arbustos y más luz de luna, tienden a quedarse más tiempo en la zona del comedero (Tabla 11).

Tabla 11. Modelo lineal de la variable tiempo en comedero de *R. rattus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	52,281	21,273	2,458	0,015
Chuncho	-5,867	6,791	-0,864	0,389
Concón	-24,580	6,483	-3,791	<0,001
Arbustos	117,197	42,261	2,773	0,006
Distancia Lineal	-0,020	0,013	-1,578	0,116
Hierba	-111,782	79,447	-1,407	0,161
Hojas y materia orgánica	-29,011	17,986	-1,613	0,108
Luna	28,187	10,686	2,638	0,009
Prom. Altura de vegetación	-0,099	0,082	-1,212	0,227

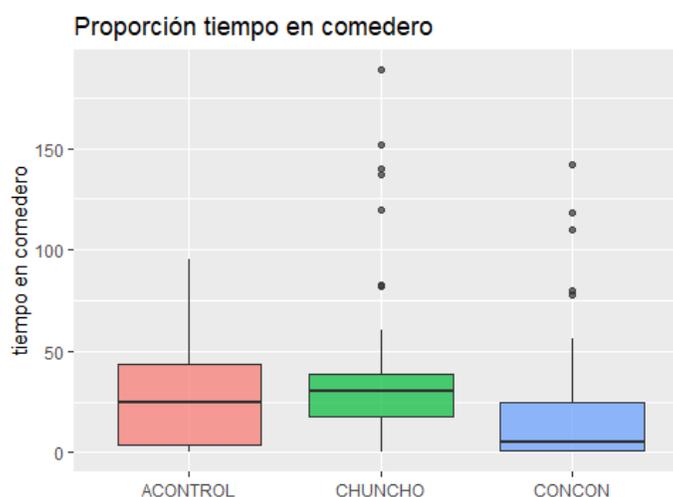


Figura 9. Boxplot de proporción tiempo en comedero de *R. rattus*.

c) **Movimiento lento:** Esta conducta disminuye significativamente en el tratamiento del concón (Tabla 12; Figura 10).

Tabla 12. Modelo lineal de la variable movimiento lento de *Rattus rattus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	2,313	1,009	2,293	0,023
Chuncho	-0,820	0,921	-0,890	0,374
Concón	-2,856	0,842	-3,391	0,001
Luna	2,629	1,646	1,597	0,112

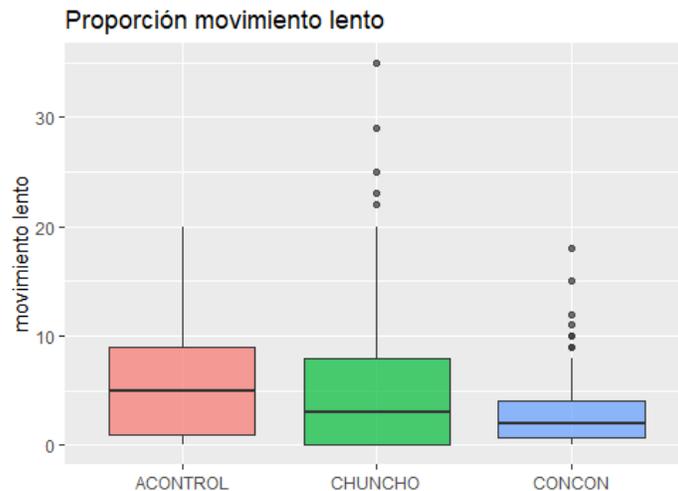


Figura 10. Boxplot de proporción de movimiento lento en *R. rattus*.

d) Desaparece de cámara: *Rattus rattus* desaparecen significativamente menos veces de cámara en el tratamiento del chuncho (Tabla 13; Figura 11).

Tabla 13. MLG de la variable desaparece de cámara de *R. rattus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	-0,112	0,176	-0,635	0,525
Chuncho	-0,484	0,186	-2,599	0,009
Concón	0,169	0,158	1,066	0,286
Distancia Lineal	-0,001	0,000	-1,771	0,077

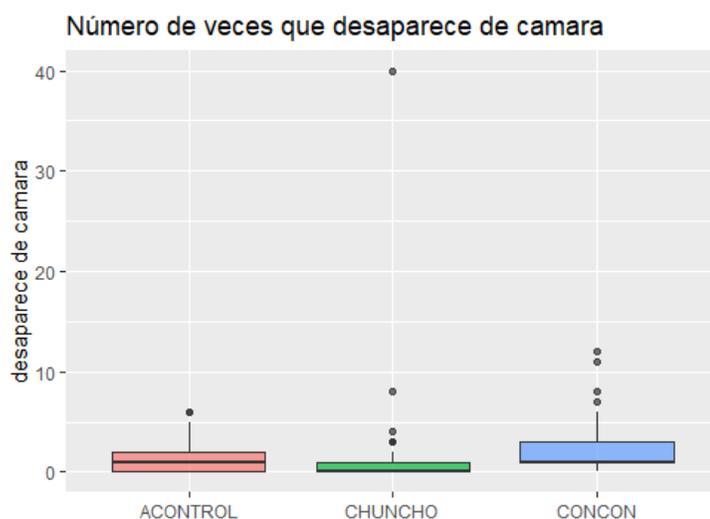


Figura 11. Boxplot de desaparecer de cámara en *R. rattus*.

4. Análisis comparativo entre especies de roedores

Para cumplir con el objetivo específico 2, a continuación se presenta la comparación de las respuestas conductuales a las vocalizaciones de aves rapaces entre especies de roedores. Se realizaron análisis para variables conductuales donde hubo previamente resultados significativos para algún tratamiento en los análisis anteriores (objetivo 1).

a) Movimiento lento: El modelo lineal (Tabla 14) Demuestra que existen diferencias significativas en el tiempo destinado al movimiento lento entre *Abrothrix* spp. y *R. rattus*, siendo esta última especie la que realiza menos movimientos lentos tanto para el tratamiento del chuncho como del concón.

Tabla 14. Modelo lineal de la variable movimiento lento entre especies. Se utilizó las variables independientes tratamientos y especie de roedor y la interacción de éstas. Se usó el grupo control y *Abrothrix* spp. para compararlos, estos grupos están incluidos en el Intercepto. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	0,442	0,369	1,199	0,231
Chuncho	3,385	0,633	5,345	<0,001
Concón	0,257	0,596	0,432	0,666
<i>O. longicaudatus</i>	1,250	0,835	1,498	0,135
<i>R. rattus</i>	3,047	0,903	3,375	0,001
Chuncho x <i>O. longicaudatus</i>	0,619	1,154	0,536	0,592
Concón x <i>O. longicaudatus</i>	0,815	1,332	0,612	0,541
Chuncho x <i>R. rattus</i>	-3,828	1,237	-3,095	0,002
Concón x <i>R. rattus</i>	-2,846	1,152	-2,471	0,014

b) Movimiento total: El tiempo de esta conducta fue mayor en el tratamiento concón, pero no existieron diferencias significativas en el tiempo de movimiento total entre las distintas especies de roedores. (Tabla 15).

Tabla 15. Modelo lineal de la variable movimiento total entre especie. Se utilizó las variables independientes tratamientos y especie y la interacción de éstas. Se usó el grupo control y *Abrothrix* spp. para compararlos, estos grupos están incluidos en el Intercepto. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	6,619	0,759	8,720	<0,001
Chuncho	1,427	1,305	1,094	0,274
Concón	3,224	1,228	2,626	0,009
<i>O. longicaudatus</i>	-1,080	1,720	-0,628	0,530
<i>R. rattus</i>	-0,037	1,859	-0,020	0,984
Chuncho x <i>O. longicaudatus</i>	2,250	2,377	0,946	0,344
Concón x <i>O. longicaudatus</i>	-1,733	2,744	-0,631	0,528
Chuncho x <i>R. rattus</i>	0,561	2,547	0,220	0,826
Concón x <i>R. rattus</i>	-3,325	2,372	-1,402	0,161

c) Tiempo de vigilancia: Esta conducta en el tratamiento del chuncho fue significativamente mayor en la especie *O. longicaudatus* comparándola con *Abrothrix* spp. (Tabla 16).

Tabla 16. Modelo lineal de la variable tiempo de vigilancia según especie. Se utilizó las variables independientes tratamientos y especie y la interacción de éstas. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	3,684	1,110	3,319	0,001
Chuncho	1,516	1,908	0,795	0,427
Concón	3,625	1,796	2,019	0,044
<i>O. longicaudatus</i>	4,528	2,515	1,800	0,072
<i>R. rattus</i>	4,363	2,719	1,605	0,109
Chuncho x <i>O. longicaudatus</i>	18,323	3,477	5,270	<0,001
Concón x <i>O. longicaudatus</i>	6,576	4,014	1,638	0,102
Chuncho x <i>R. rattus</i>	0,130	3,725	0,035	0,972
Concón x <i>R. rattus</i>	-1,171	3,469	-0,338	0,736

d) Tiempo comiendo: No se presentaron cambios significativos en el tiempo comiendo entre especie de roedores bajo algún tratamiento en específico. Si hubo un aumento significativo de esta conducta en el *R. rattus* respecto a *Abrothrix* spp. pero sin considerar los tratamientos (Tabla 17.).

Tabla 17. Modelo lineal de la variable tiempo comiendo según especie. Se utilizó las variables independientes tratamientos y especie y la interacción de éstas. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	14,623	1,999	7,316	<0,001
Chuncho	4,622	3,436	1,345	0,179
Concón	0,647	3,233	0,200	0,841
<i>O. longicaudatus</i>	4,528	2,515	1,800	0,072
<i>R. rattus</i>	4,363	2,719	1,605	0,109
Chuncho x <i>O. longicaudatus</i>	5,959	6,261	0,952	0,342

Concón x <i>O. longicaudatus</i>	-3,430	7,228	-0,475	0,635
Chuncho x <i>R. rattus</i>	3,649	6,708	0,544	0,587
Concón x <i>R. rattus</i>	-8,082	6,247	-1,294	0,196

e) Tiempo en el comedero: Se observa que existe una diferencia significativa en el tiempo comiendo en el tratamiento concón entre la especie *R. rattus* y *Abrothrix* spp. En este caso la especie *R. rattus* pasa considerablemente menos tiempo que *Abrothrix* spp. en el comedero (Tabla 18).

Tabla 18. Modelo lineal de la variable tiempo en el comedero según especie. Se utilizó las variables independientes tratamientos y especie y la interacción de éstas. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	7,730	1,648	4,691	<0,001
Chuncho	4,006	2,832	1,414	0,158
Concón	1,946	2,666	0,730	0,465
<i>O. longicaudatus</i>	4,481	3,734	1,200	0,230
<i>R. rattus</i>	18,386	4,036	4,555	<0,001
Chuncho x <i>O. longicaudatus</i>	2,200	5,161	0,426	0,670
Concón x <i>O. longicaudatus</i>	-3,658	7,228	-0,475	0,635
Chuncho x <i>R. rattus</i>	3,385	5,530	0,612	0,541
Concón x <i>R. rattus</i>	-13,608	5,156	-2,640	0,008

d) Tiempo de movimiento rápido: Podemos observar que no existen diferencias significativas entre especies cuando están sometidas a algún tipo de tratamiento. Pero si existe una diferencia significativa en el tiempo de movimiento rápido entre *R. rattus* y *Abrothrix* spp, teniendo esta última especie un tiempo mayor en esta conducta (Tabla 19).

Tabla 19. Modelo lineal de la variable tiempo movimiento rápido según especie. Se utilizó las variables independientes tratamientos y especie y la interacción de éstas. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	3,754	0,540	6,946	<0,001
Chuncho	-1,563	0,929	-1,682	0,093
Concón	2,104	0,874	2,407	0,016
<i>O. longicaudatus</i>	-1,927	1,224	-1,573	0,116
<i>R. rattus</i>	-2,847	1,324	-2,151	0,032
Chuncho x <i>O. longicaudatus</i>	1,141	1,693	0,674	0,501
Concón x <i>O. longicaudatus</i>	-1,019	1,954	-0,521	0,602
Chuncho x <i>R. rattus</i>	3,456	1,813	1,906	0,057
Concón x <i>R. rattus</i>	0,239	1,689	0,142	0,887

e) Número de contactos con la comida: Se observa que existe una diferencia significativa entre *O. longicaudatus* y *Abrothrix* spp. en el número de contactos con la comida cuando están bajo el efecto de las vocalizaciones del concón. En este caso, *O. longicaudatus* tiene más número de contactos con la comida que *Abrothrix* spp. (Tabla 20).

Tabla 20. MLG de la variable número de contactos con la comida según especie. Se utilizó las variables independientes tratamientos y especie y la interacción de éstas. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	0,226	0,039	5,771	<0,001
Chuncho	0,145	0,068	2,126	0,033
Concón	0,093	0,057	1,642	0,101
<i>O. longicaudatus</i>	-0,051	0,098	-0,527	0,598
<i>R. rattus</i>	0,281	0,089	3,150	0,002
Chuncho x <i>O. longicaudatus</i>	0,035	0,130	0,272	0,786
Concón x <i>O. longicaudatus</i>	0,370	0,151	2,457	0,014
Chuncho x <i>R. rattus</i>	-0,164	0,120	-1,365	0,172
Concón x <i>R. rattus</i>	-0,273	0,113	-2,420	0,016

f) Desaparece de cámara: Se presentó una diferencia significativa entre *O. longicaudatus* y *Abrothrix spp.* en el número de veces que desaparece de cámara cuando están bajo el efecto de las vocalizaciones del concón. En este caso *O. longicaudatus* desaparece menos veces de cámara que *Abrothrix spp.* (Tabla 21). También se observan diferencias significativas en los tratamientos con vocalizaciones y entre algunas especies sin el efecto de las vocalizaciones.

Tabla 21. MLG de la variable número de contactos con la comida según especie. Se utilizó las variables independientes tratamientos y especie. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	0,893	0,076	11,675	<0,001
Chuncho	-0,563	0,142	-3,971	0,000
Concón	0,399	0,120	3,338	0,001
<i>O. longicaudatus</i>	-0,625	0,192	-3,253	0,001
<i>R. rattus</i>	-0,434	0,201	-2,165	0,030
Chuncho x <i>O. longicaudatus</i>	0,216	0,275	0,784	0,433
Concón x <i>O. longicaudatus</i>	-0,792	0,322	-2,462	0,014
Chuncho x <i>R. rattus</i>	0,484	0,279	1,732	0,083
Concón x <i>R. rattus</i>	-0,139	0,249	-0,560	0,576

DISCUSIÓN

Las vocalizaciones de aves rapaces pueden ser una señal que ayude a los roedores murinos a percibir y predecir el riesgo de ser depredados (Kindermann *et al.*, 2009). De acuerdo a los resultados de este estudio, se sugiere que *Abrothrix* spp. y *R. rattus* perciben mayor riesgo de depredación frente a las vocalizaciones de concón en comparación a las vocalizaciones de chuncho. Por el contrario, se sugiere que la especie *O. longicaudatus* percibe mayor riesgo de depredación frente a las vocalizaciones de chuncho. Estas diferencias se pueden deber a distintos factores, como las diferencias de conductas y hábitos entre roedores y entre aves rapaces. Por ejemplo, el concón es un ave que se alimenta de todas las especies de roedores analizadas, pero tiene preferencia por consumir micromamíferos nativos con conductas arbóreas como la rata arbórea (*Irenomys tarsalis*), ratón de cola larga (*O. longicaudatus*) y monito del monte (*Dromiciops australis*) (Martínez y Jaksik, 1997; Pavéz, 2019). Por lo anterior, se esperaba que la especie *O. longicaudatus* tuviera cambios significativos en sus conductas antidepredatorias cuando estaba bajo el efecto de las vocalizaciones del concón, pero los resultados conductuales indican que su percepción de riesgo en este tratamiento no fue diferente comparado al tratamiento control. Esto se podría deber a que como las estaciones forrajeras se colocaron en el suelo del bosque, *O. longicaudatus* debe bajar a alimentarse y al escuchar las vocalizaciones del concón podría percibir menos riesgo de depredación al no encontrarse en los árboles y estar cubierto de otra vegetación que le puede servir de protección. Por otro lado, el hecho de que *R. rattus* percibiera mayor riesgo de depredación en el tratamiento del concón que al tratamiento de chuncho, se podría deber al hecho de que el chuncho es una de las aves rapaces más pequeñas, teniendo una longitud promedio de 21 cm y pesando entre 60 a 95 grs (Pavéz, 2019), por lo que debido al gran tamaño de *R. rattus* (35-46 cm/ 80-300g), puede dificultar cazarlo (Núñez y Cisterna, 1991). *Rattus rattus* se ha documentado en la dieta del chuncho en algunos estudios (Ibarra, 2014; Ibarra, 2015), pero en general no se registra esta especie en su dieta (Jaksic *et al.*, 1993; Figueroa *et al.*, 2015), por lo que sería más bien una presa ocasional. Por el contrario, *R. rattus* se reporta comúnmente en la dieta del concón (Martínez y Jaksic, 1997; Pavéz, 2019).

Las dos especies de aves rapaces analizadas son nativas y comunes en los bosques templados del sur de Chile y específicamente en el área de estudio (Ibarra *et al.*, 2012). Por lo tanto, las respuestas de estos roedores frente a las vocalizaciones de ambas aves rapaces

podría deberse a un aprendizaje adquirido. El aprendizaje adquirido de reconocimiento de las vocalizaciones de sus depredadores por parte de los roedores se ha documentado en diversos estudios (Hettena *et al.*, 2014). Por ejemplo, Kindermann *et al.*, (2009) realizaron una investigación con roedores murinos (ratones, gerbos y ratas), donde sus resultados de laboratorio sugirieron que no existió un reconocimiento innato de las llamadas de los depredadores aviares en los roedores y que el reconocimiento de las llamadas de los depredadores aviares observados en roedores en trabajos de campo se adquiere mediante el aprendizaje directo con el depredador. En otros casos, se sugiere que los roedores pueden reconocer las vocalizaciones de sus depredadores de forma innata (Eilam *et al.*, 1999; Hendrie *et al.*, 1998). Para las especies de roedores estudiadas en esta Memoria no se tiene información previa al respecto y el presente estudio no permite dilucidar si las respuestas conductuales frente a las vocalizaciones se presentan por reconocimiento innato o adquirido. Para ello, es necesario realizar estudios en laboratorio con animales que no hayan tenido experiencias previas con estas aves rapaces. Este tipo de investigaciones sería de importancia para tener información que sirva como base científica para el uso de señales auditivas de aves rapaces para control de roedores en Chile. Además futuros estudios deberían incluir la frecuencia y amplitud de sonido en las estaciones forrajeras. Bartheld *et al.* (2011) registraron en un bosque costero valdiviano que el concón emite vocalizaciones con una frecuencia entre 1-4 kHz aproximadamente y el chuncho vocalizaciones con una frecuencia de 1-10kHz, teniendo el concón vocalizaciones con mayor amplitud. Esto quiere decir que el chuncho tiene vocalizaciones más agudas y más despacio que el concón, por lo que a futuro se podría considerar esta información y regular con mayor precisión las frecuencias y amplitud de los sonidos durante los experimentos.

Las especies de roedores nativos estudiados (*Abrothrix* spp. y *O. longicaudatus*) en general no tuvieron cambios significativos en sus conductas de forrajeo, pero sí en conductas de movimiento y tiempo de vigilancia cuando estuvieron expuestos a las vocalizaciones. El alcance de las compensaciones entre alimentarse y estar seguros está influenciado por un “trade-off” y por actividades alternativas que mejoran la adecuación biológica (Brown 1999; Brown *et al.*, 1999). Existen los patrones típicos que muestran una relación inversa entre la vigilancia y la ingesta de alimentos (Brown 1999), por el contrario, Nersesian *et al.* (2012) argumentó que las zarigüeyas al estar expuestas a un riesgo de depredación moderado se

encontraban en un estado mayor de vigilancia y esto les permitió mantener su ingesta de alimento. Los resultados de esta Memoria coinciden con los resultados de Nersesian *et al.* (2012), ya que las especies *O. longicaudatus* y *Abrothrix* spp. no tuvieron cambios significativos en sus conductas de forrajeo, pero ambas especies si tuvieron cambios en su tiempo de vigilancia. *O. longicaudatus* aumentó su tiempo de vigilancia en el tratamiento del chuncho y *Abrothrix* spp. aumentó su tiempo de vigilancia al estar expuesto a las vocalizaciones del concón.

En el caso de *R. rattus*, si se presentaron cambios significativos en algunas conductas de forrajeo. Específicamente, en el análisis de comparación de las respuestas conductuales entre especies de roedores, *R. rattus* a modo general (en todos los tratamientos) destinó significativamente más tiempo comiendo y más tiempo en el comedero que *Abrothrix* spp., mientras que pasó significativamente menos tiempo en el comedero cuando estuvo bajo el tratamiento del concón. Una de las posibles razones de las diferencias en las respuestas conductuales ejercidas por las distintas especies se podría deber al tamaño corporal. Esta variable tiene una influencia importante en el comportamiento de alimentación bajo condiciones que imitan un alto riesgo de depredación, donde un tamaño corporal grande podría conferir una mayor sensibilidad y, por lo tanto, una mayor vulnerabilidad de depredación (Vásquez, 1996). Los resultados de este estudios apoyan la hipótesis de que las especies con mayor tamaño corporal cambian su comportamiento de alimentación proporcionalmente más que las especies más pequeñas (Vásquez, 1996). De hecho, los depredadores en Chile central prefieren presas más grandes entre los roedores sigmodontinos (Jaksic *et al.*, 1993; Vásquez 1996).

Por otro lado, el tipo de locomoción es un factor importante en la capacidad de explotar parches potencialmente riesgosos. De las especies incluidas en el estudio, *O. longicaudatus* presenta las patas traseras largas y se moviliza mediante saltos, presentando una bipedalidad parcial (Vásquez, 1996). El estudio de Vásquez (1996), apoyó la idea de que los roedores parcialmente bípedos tienen la ventaja de explorar parches potencialmente más peligrosos y que las características fenotípicas de *O. longicaudatus* permiten usar parches más riesgosos sin necesidad de cambiar su comportamiento de forrajeo. La bipedalidad puede permitir que los animales experimenten menos riesgo de depredación porque permite velocidades de escape más rápidas (aceleraciones), permite trayectorias más erráticas con

cambios repentinos en dirección, y/o permite una mayor resistencia al correr (Vásquez, 1994; Yuki, 2016). En esta Memoria se encontró que *O. longicaudatus* desaparecía significativamente menos veces de cámara que *Abrothrix* spp. y *R. rattus*. Esto podría ser un indicador de que *O. longicaudatus* tiene la capacidad de permanecer más tiempo en un parche potencialmente riesgoso debido a su bipedalidad parcial.

Con respecto a las variables del microhábitat analizadas, se evidenció una tendencia que a medida de que hay mayor cobertura vegetal en las estaciones forrajeras, los roedores podían percibir menor riesgo de depredación. En el caso de *R. rattus*, la única variable conductual que tuvo cambios significativos a alguna variable del microhábitat fue el tiempo en la zona del comedero, la cual aumentó significativamente a medida que hay más arbustos. Esto puede deberse a que al estar más cubierta la zona del comedero, percibe un mayor estado de protección, lo cual le permite pasar más tiempo en la zona. En el caso de *Abrothrix* spp., tanto sus conductas de forrajeo como sus conductas de movimientos resultaron tener cambios significativos respecto a las variables del microhábitat, lo que sugiere que a menor cobertura vegetal perciben mayor riesgo de depredación. Esto concuerda con la conducta de estos roedores, los cuales son cavadores y construyen pequeñas cuevas en áreas de cubierta vegetal densa y requieren para ellos sitios con vegetación densa para protegerse de sus depredadores (Muñoz-Pedrerros y Gil, 2009). Por el contrario, el tiempo de vigilancia aumentó significativamente a medida que hubo menor cantidad de hierbas y mayor cantidad de materia orgánica y hojas. De acuerdo a los resultados anteriormente expuestos, se esperaba el resultado inverso (menor tiempo de vigilancia a medida que hubiera mayor cantidad de materia orgánica y hojas). Puede ser que *Abrothrix* spp. cuando están en zonas con más hojas y materia orgánica le puede ser dificultoso el detectar a los depredadores, pudiendo aumentar su tiempo de vigilancia como estrategia antidepredatoria. Esto se ha reportado en algunos mamíferos como los wallabies de Bennett (*Macropus rufogriseus*), los cuales prefieren estar lejos de la cobertura para detectar a los depredadores (While y Mc Arthur 2005). En *O. longicaudatus*, no hubieron muchas variables del microhábitat que resultaron ser significativas para las variables conductuales. El tiempo en el comedero fue la única variable que resultó ser significativa a la cobertura vegetal, indicando que pasan más tiempo en la zona del comedero a medida que había mayor cobertura de arbustos, hojas y materia orgánica. Para las otras variables conductuales, la

variable del microhábitat donde se obtuvo resultados significantes en *O. longicaudatus* fue la distancia lineal al arbusto más cercano. A medida que el arbusto más cercano está a menos distancia, sus cambios de las variables conductuales reflejan mayor riesgo de depredación. Estos resultados podrían deberse a que esta especie experimenta menos riesgo de depredación al estar en parches más abiertos (más riesgosos) por su adaptación de bipedalidad parcial que le da mayor capacidad de escape (Vásquez, 1994). De hecho, Simonetti (1989) documentó que esta especie de roedor usa con más frecuencia parches abiertos.

Respecto a la luminosidad lunar, el aumento de luz sobre las presas a menudo se ha asociado con mayor riesgo de depredación percibido (Orrock *et al.*, 2004; Griffin *et al.*, 2005), pero con algunas excepciones (Biebouw y Blumstein 2003; Brienkerhoff *et al.*, 2005). Los resultados sugieren que *O. longicaudatus* no responde con cambios conductuales a la diferencia de la luminosidad lunar. Estudios previos indican que esta especie es menos sensible a una mayor luminosidad que otros roedores, y que probablemente no percibe ni experimentaría ningún aumento en el riesgo de depredación como producto de una mayor iluminación ambiental (Vásquez, 1996). En *Abrothrix* spp., no se vio un cambio significativo en las conductas de forrajeo, pero sí en las conductas de movimiento, las cuales aumentaban a medida que había mayor luz de luna. Estos resultados concuerdan con la investigación que realizó Vásquez (1996), en el que se indica que la sensibilidad a la luminosidad de menos a más sensible es *O. longicaudatus*, *A. olivaceus* y *P. darwini*. Estas diferencias de sensibilidad a la luminosidad pueden deberse a la morfología y locomoción de los roedores, como se mencionó anteriormente (Vásquez 1996). En el caso de *R. rattus*, en esta Memoria se reportó que a mayor luz de luna, tienden a aumentar sus conductas de forrajeo y a aumentar su movimiento total. Farnworth *et al.* (2019) realizaron un estudio sobre como afectaba la luminosidad artificial en *R. rattus* y sus resultados sugieren que su actividad forrajera no cambia frente a esta variable, pero sí sus movimientos, los cuales aumentaban cuando la luminosidad era mayor. Por lo tanto, el hecho que *R. rattus* haya aumentado el tiempo de sus conductas de forrajeo y movimiento total bajo mayor luminosidad lunar, podría deberse a que la iluminación facilita su conciencia espacial del entorno, pudiendo llegar a ser ventajoso el tener mayor visibilidad (Farnworth *et al.*, 2019). De todas maneras, dado que en el presente estudio los experimentos fueron realizados en un periodo corto de días, futuras

investigaciones podrían incluir un mayor periodo de tiempo de experimentos para poder tener una mayor variabilidad de luminosidad lunar entre días de muestreo.

De acuerdo a la revisión de literatura realizada, esta Memoria de Título es el primer estudio donde se evaluó el efecto de las vocalizaciones de *Glaucidium nanum* y *Strix rufipes* sobre especies de roedores en Chile. Dada la importancia de ciertas especies de roedores como plagas para la agricultura o reservorios de agentes zoonóticos, es importante seguir investigando el uso de señales auditivas de aves rapaces en roedores para así poder aportar en estrategias que sirvan para el control de roedores en Chile

CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio indican que las vocalizaciones del chuncho y concón producen respuestas conductuales en los roedores estudiados, donde *Abrothrix* spp. y *R. rattus* percibirían mayor riesgo de depredación frente a las vocalizaciones de concón, mientras que *O. longicaudatus* percibirían mayor riesgo de depredación frente a las vocalizaciones de chuncho.
- *Rattus rattus* mostró cambios significativos en sus conductas de forrajeo y conductas de movimientos cuando estuvo expuesto a las vocalizaciones. Por el contrario, las especies nativas (*Abrothrix* spp. y *O. longicaudatus*) en general no tuvieron cambios significativos en sus conductas de forrajeo, pero sí en conductas de movimiento y tiempo de vigilancia. Estas diferencias en los cambios comportamentales puede deberse al tamaño corporal y tipo de locomoción de las especies analizadas.
- Los roedores analizados también respondieron conductualmente a señales indirectas de riesgo de depredación como cobertura vegetal y luminosidad lunar, donde hubo diferencias entre especies de roedores. Estas diferencias en la percepción podrían estar relacionadas con sus características de locomoción y tamaño corporal.
- En este Memoria de Título se evaluó por primera vez el efecto de las vocalizaciones de *Glaucidium nanum* y *Strix rufipes* sobre las especies de roedores nativos *Abrothrix* spp., *O. longicaudatus* y el roedor introducido *R. rattus*. Es importante seguir investigando el uso de señales auditivas de aves rapaces en roedores para así poder evaluar su uso en el manejo y control de roedores.

BIBLIOGRAFIA

APFELBACH, R.; BLANCHARD, C.; BLANCHARD, R.; HAYES, R.; MCGREGOR, I. 2005. The effects of predator odors in mammalian prey species: a review of field and laboratory studies. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 29:1123–1144.

ABRAMS, P. 2000. The evolution of predator-prey interactions: theory and evidence. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31:79-105.

BARTHELD, J.; MORENO-GÓMEZ, F; SOTO-GAMBOA., M.; SILVA-ESCOBAR A.; SUAZO, C. 2011. Monitoreo Acústico de Aves y Anfibios en el Bosque Costero Valdiviano. Valdivia, Chile, pp 78

BIEBOUW, K.; BLUMSTEIN, D. 2003. Tammar wallabies (*Macropus eugenii*) associate safety with higher levels of nocturnal illumination. *Ethol.Ecol. Evol.* 15:159–172.

BLUMSTEIN, D.; COOLEY, L.; WINTERMITZ, J.; DANIEL, J. 2008. Do yellow-bellied marmots respond to predator vocalizations? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 62:457-468.

BRINKERHOFF, R.J.; HADDAD, N.; ORROCK, J. 2005. Corridors and olfactory predator cues affect small mammal behavior. *Mammal* 86:662–669.

BROWN, J. 1999. Vigilance, patch use and habitat selection: foraging under predation risk. *Evol. Ecol. Res.* 1:49–71.

BROWN, J.; LAUNDRE, J.; GURUNG, M. 1999. The ecology of fear: optimal foraging, game theory, and trophic interactions. *Mammal. Res.* 80:385–399.

CAVIEDES, J.; IBARRA, J. 2017. Influence of anthropogenic disturbances on stand structural complexity in Andean temperate forests: Implications for managing key habitat for biodiversity. *Plos One* 12 (1):1-18.

CREGO, R.; JIMENÉZ, J.; ROZZI, R. 2018. Macro-and micro-habitat selection of small rodents and their predation risk perception under a novel invasive predator at the southern end of the Americas. *Mammal. Res.* 63(3):267-275.

- DALL, S.R.; GIRALDEAU, L.; OLSSON, O.; MCNAMARA, J.M.; STEPHENS, D.W.** 2005. Information and its use by animals in evolutionary ecology. *Trends. Ecol. Evol.* 20:187-193.
- EASON, C.; MURPHY, E; WRIGHT, G; SPURR, E.** 2002. Assessment of risk of Brodifacoum to non-target birds and mammals in New Zealand. *Ecotoxicology.* 11:35-48.
- EILAM, D.; DAYAN, T.; BEN-ELIYAHU, S.; SCHULMAN, I.; SHEFER, G.; HENDRIE, C.S.;** 1999. Differential behavioural and hormonal responses of voles and spiny mice to owl calls. *Anim. Behav.* 58:1085-1093.
- FARNWORTH, B.; MEITERN, M.; INNES, J.; WAAS, J.** 2019. Increasing predation risk with light reduces speed, exploration and visit duration of invasive ship rats (*Rattus rattus*). *Scientific Reports* 9:3739.
- FENDT, M.** 2006. Exposure to urine of canids and felids, but not of herbivores, induces defensive behavior in laboratory rats. *J. Chem. Ecol.* 32 (12):2617-2627.
- FIGUEROA, R.; ALVARADO, S.; CORALES, S.; GONZÁLEZ-ACUÑA, D.; SCHLATTER, R.; MARTÍNEZ, D.** 2015. Los buhos de Chile **In:** Enriquez, L.; Pellizzari, R.; Delvin, L. Los búhos neotropicales diversidad. El colegio de la frontera sur. Chiapas, Mexico. pp 173-272.
- GORMAN, M.** 1990. Scent marking strategies in mammals. *Rev. Suisse. Zool.* 97 (1):3-29.
- GRIFFIN, P.; GRIFFIN, S.; WAROQUIERS, C.; MILLS, L.** 2005. Mortality by moonlight: predation risk and the snowshoe hare. *Behav. Ecol.* 16:938–944.
- HAYES, R.; MORELLI, TL.; WRIGHT, P.C.** 2006a. Volatile components of lemur scent secretions vary throughout the year. *Am. J. Primatol.* 68:1202-1207.
- HAYES, R.; NAHRUNG, H.; WILSON, J.** 2006b. The response of native Australian rodents to predator odours varies seasonally: a by-product of life history variation? *Anim. Behav.* 71 (6):1307-1314.
- HENDRIE, C.; WEISS, S.; EILAM, D.** 1998. Behavioural response of wild rodents to the calls of an owl: a comparative study. *Zoology* 245(4): 439 – 446.

- HERNÁNDEZ, M.; NAVARRO-CASTILLA, A.; PIÑEIRO, A.; BARJA, I.** 2018. Wood mice aggressiveness and flight response to human handling: Effect of individual and environmental factors. *Ethology* 124 (8): 559-569.
- HETTENA, A.; MUÑOZ, N.; BLUMSTEIN, D.** 2014. Prey responses to predator's sounds: A review and empirical study. *Ethology* 120 (5): 427-452.
- HUFFARD, C.L.** 2006. Locomotion by *Abdopus aculeatus* (Cephalopoda: Octopodidae): walking the line between primary and secondary defenses. *J. Exp. Biol.* 209: 3697-3707.
- IBARRA, J.; GÁLVEZ, N.; GIMONA, A.; ALTAMIRANO, T.; ROJAS, I.; HESTER, A.; LAKER, J.; BONACIC, B.** 2012. Rufous-legged Owl (*Strix rufipes*) and Austral Pygmy-Owl (*Glaucidium nanum*) stand use in a gradient of disrupted and old growth Andean temperate forest, Chile. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 47: 33–40.
- IBARRA, J.; ALTAMIRANO, T.; MARTIN, K.; VARGAS, F.; BONACIC, C.** 2014. Tree cavity-nesting of Austral Pygmy-Owls (*Glaucidium nana*) in Andean temperate forests of southern Chile. *J. Raptor. Res.* 48: 82–85.
- IBARRA, J.; ALTAMIRANO, T.; VERGARA, G.; VERMEHREN, A.; VARGAS, F.; MARTIN, K.** 2015. Historia natural y autoecología del chuncho (*Glaucidium nana*) en el bosque templado andino de La Araucanía, sur de Chile. *Bol. Chil. Ornit.* 21 (2015) 21-40.
- JAKSIC, F M.; MESERVE, P.; GUTIERREZ, J.; TABILO, E.** 1993. The components of predation on small mammals in semiarid Chile: preliminary results. *Revista Chilena de Historia Natural* 66:305-321.
- KAN, I.; MOTRO, Y.; HORVITZ, N.; KIMHI, A.; LESHEM, Y.; YOM-TOV, Y.; NATHAN, R.** 2013. Agricultural rodent control using barn owls: Is it profitable? *Am. J. Agr. Econ.* 96 (3): 733-552
- KAVALIERS, M.; CHOLERIS, E.** 2002. Antipredator responses and defensive behavior: ecological and ethological approaches for the neurosciences. *Perg. S. Neur.* 25 (2001): 1-10
- KINDERMANN, T.; SIEMERS, B.; FENDT, M.** 2009. Innate or learned acoustic recognition of avian predators in rodents? *J. Exp. Biol.* 212 (4): 506-513

- KOTLER, B.; BROWN, j.; HASSON, O.** 1991. Factors affecting gerbil foraging behavior and rates of owl predation. *Ecology* 72:2249-2260.
- KOTLER, B.; BROWN, J.; MUKHERJEE, S.; BERGER-TAL, O.; BOUSKILA, A.** 2010. Moonlight avoidance in gerbils reveals a sophisticated interplay among time allocation, vigilance and stateependent foraging. *Proc. Royal. Society. B-Biol. Sci.* 277:1469–1474.
- KRIJGER, I.; BELMAIN, S.; SINGLETON, G.; GROOT, P; MEERBURG, B.** 2017. The need to implement the landscape of fear within rodent pest management strategies. *Chempluschem.* 81 (11): 1166-1173.
- KUIJPER, D.; VERWIJMEREN, M.; CHURSKI, M.; ZBYRYT, A.; SCHMIDT, K.; JEDRZEJWSKA, B.** 2014. What cues do ungulates use to assess predation risk in dense temperate forests? *Plos. One.* 9 (1): 1-12.
- LIMA, S.; BEDNEKOFF, P.** 1999. Temporal variation in danger drives antipredator behavior: the predation risk allocation hypothesis. *Am. Nat.* 153: 649-659.
- LONGLAND, W.; PRICE, M.** 1991. Direct observations of owls and heteromyid rodents: can predation risk explain microhabitat use? *Ecology* 72:2261-2273.
- MARTÍNEZ, D.; JAKSIC, F.** 1997. Selective predation on scansorial and arboreal mammals by Rufous-legged Owls (*Strix rufipes*) in southern Chilean rainforest. *Journal of Raptor Research* 31: 370–375.
- MCDONALD, P.; GRIFFITHS, A.; NANO, C.; DICKMAN, C.; WARD, S., LUCK, G.** 2015. Landscape-scale factors determine occupancy of the critically endangered central rock-rat in arid Australia: the utility of camera trapping. *Biol. Conserv.* 191: 93-100.
- MEERBURG, B.; SINGLENTON, G.; KIJLSTRA, A.** 2009. Rodent-borne diseases and their risks for public health. *Crit. Rev. Microbiol.* 35 (3): 221-270.
- MUÑOZ-PEDREROS, A.; GIL, C.** 2009. Orden Rodentia. **In:** Muñoz-Pedrerros.; Yáñez, J. *Mamíferos de Chile.* (2ª. ed.). CEA Ediciones. Santiago, Chile. pp. 93-157.

MUÑOZ-PEDREROS, A. 2019. Aves rapaces y control biológico de plagas. **In:** Muñoz-Pedreros, A.; Rau, J.; Yañez, J. Aves Rapaces de Chile (2ª. ed.). CEA Ediciones. Santiago, Chile. pp 447-479.

NAKANO, R.; NAKAGAWA, R.; TOKIMOTO, N.; OKANOYA, K. 2013. Alarm call discrimination in a social rodent: adult but not juvenile degu calls induce high vigilance. *J. Ethol.* 31(2): 115-121.

NAVARRO-CASTILLA, A.; BARJA, I. 2014. Antipredatory response and food intake in wood mice (*Apodemus sylvaticus*) under simulated predation risk by resident and novel carnivorous predators. *Ethology.* 120 (1): 90-98.

NERSESIAN, C.; BANKS, P.; MCARTHUR, C. 2012. Behavioural responses to indirect and direct predator cues by a mammalian herbivore, the common brushtail possum. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 66 (1): 46-65.

NORAMBUENA, H.; MUÑOZ-PEDREROS, A.; SANHUEZA, R. 2012. Identificación de Strigiformes. **In:** Programa de Conservación de Aves Rapaces y Control Biológico. Monografías de Capacitación y Difusión N° 2. CEA Ediciones, Valdivia, Chile. pp 4.

NÚÑEZ S.; CISTERNA L. 1991. Roedores domésticos I. Caracterización morfológica conductual y sanitaria. [en línea]. Monografías de Medicina Veterinaria, Vol.13, N°1. <https://web.uchile.cl/vignette/monografiasveterinaria/monografiasveterinaria.uchile.cl/CDA/mon_vet_completa/0,1421,SCID%253D18032%2526ISID%253D433,00.html> [consulta: 16-06-20]

ORROCK, J.; DANIELSON, L.; BRINKERHOFF, R. 2004. Rodent foraging is affected by indirect, but not by direct, cues of predation risk. *Behav. Ecol.* 15(3) :433-437.

PAVÉZ, E. 2019. Descripción de las especies de aves rapaces de Chile. **In:** Muñoz-Pedreros, A.; Rau, J.; Yañez, J. Aves Rapaces de Chile (2ª. ed.). CEA Ediciones. Santiago, Chile. pp 447-479.

PENTERIANI, V.; KUPARINEN, A.; DEL MAR DELGADO, M.; PALOMARES, F.; LÓPEZ-BAO, J.V.; FEDRIANI, J.M.; CALZADA, J.; MORENO,S.; VILLAFUERTE, R.; CAMPIONI, L. 2013. Responses of a top and a meso predator and their prey to moon phases. *Oecologia* 173:753-766.

- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, B.; BARJA, I.; NAVARRO-CASTILLA, A.** 2017. Wood mice modify food intake under different degrees of predation risk: Influence of acquired experience and degradation of predator's faecal volatile compounds. *Chemoecology* 27: 115–122.
- SIMONETTI, J.** 1989. Microhabitat use by small mammals in central Chile. *Oikos* 56:309–318.
- STENSETH, R.; LEIRS, H.; SKONHOFT, A.; DAVIS, S.; PECH, R.; ANDREASSEN, H.; SINGLETON, G.** 2003. Mice, rats, and people: The Bio-economics of Agricultural Rodent Pests. *Front. Ecol. Environ.* 1 (7):367-375.
- VÁSQUEZ, R.** 1994. Assessment of predation risk via illumination level: facultative central place foraging in the cricetid rodent *Phyllotis darwini*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 34:375-381.
- VÁSQUEZ, R.** 1996. Patch utilization by three species of chilean rodents differing in body size and mode of locomotion. *Ecology.* 77(8): 2343-2351.
- VÁSQUEZ, R.; GROSSI, B.; MARQUEZ, N.** 2001. On the value of information: studying changes in patch assessment abilities through learning. *Oikos* 112: 298-310.
- VERPLANCKE, G.; LE BOULENGÉ, E.; DIEDERICH, C.** 2010. Differential foraging in presence of predator and conspecific odors in bank voles: a field enclosure study. *Ecol. Res.* 25:973-981
- WHILE, G, MCARTHUR, C.** 2005. Foraging in a risky environment: a comparison of Bennett's wallabies *Macropus rufogriseus rufogriseus* (*Marsupialia: Macropodidae*) and red-bellied Pademelons *Thylogale billiardierii* (*Marsupialia: Macropodidae*) in open habitats. *Austral Ecology.* 30:756–764.
- YUKI, T.** 2016. An Integrative Investigation of Convergent Bipedal Locomotion in Desert Rodents. Doctor of Philosophy in the subject of Biology. Massachusetts, USA. Harvard University Cambridge. 1-184p.

ANEXOS

1. Conductas de *Abrothrix* spp. que no fueron significativas a algún tratamiento

a) **Número de contactos con comida:** El número de contacto con la comida aumenta a medida que hay menor cantidad de hierba, menos hojas y materia orgánica, menos luminosidad lunar y menor promedio de la altura de vegetación (Tabla 1).

Tabla 1. MLG de la variable número de contactos *Abrothrix* spp. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	1,439	0,251	5,738	<0,001
Chuncho	0,089	0,070	1,282	0,200
Concón	0,096	0,062	1,566	0,117
Hierba	-4,245	1,267	-3,350	<0,001
Hojas y materia orgánica	-0,773	0,232	-3,339	0,001
Prom. altura de vegetación	-0,003	0,001	-2,434	0,015
Luna	-0,515	0,135	-3,819	<0,001

b) **Tiempo comiendo:** El tiempo comiendo aumenta a medida que hay mayor abundancia de arbustos, mayor promedio de altura de vegetación y mayor luminosidad lunar (Tabla 2.).

Tabla 2. Modelo lineal de la variable tiempo comiendo *Abrothrix* spp. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	9,957	12,273	0,811	4,E-01
Chuncho	2,283	3,861	0,591	0,555
Concón	-3,636	3,581	-1,015	0,311
Arbustos	66,451	30,191	2,201	0,028
Hojas y materia orgánica	-18,798	12,271	-1,532	0,126
Distancia lineal	0,010	0,008	1,247	0,213
Prom. altura de vegetación	0,107	0,054	1,978	0,049
Luna	30,466	6,894	4,419	<0,001

c) **Tiempo en el comedero:** Esta conducta en los *Abrothrix spp.* aumenta a medida que hay más arbustos, mayor promedio de la altura de vegetación y a medida que la distancia al arbusto más cercano es mayor (Tabla 3).

Tabla 3. Modelo lineal de la variable tiempo en el comedero *Abrothrix spp.* Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	11,061	9,497	1,165	0,200
Chuncho	1,480	2,988	0,495	0,621
Concón	-3,094	2,771	-1,116	0,265
Arbustos	76,843	23,361	3,289	0,001
Hojas y materia orgánica	-16,935	9,495	-1,783	0,075
Distancia lineal	0,018	0,006	2,897	0,004
Prom. altura de vegetación	0,112	0,042	2,677	0,008
Luna	9,144	5,334	1,714	0,087

2. Conductas de *Oligorizomys longicaudatus* que no fueron significativas a algún tratamiento

a) **Tiempo comiendo:** El tiempo comiendo no cambia significativamente en los tratamientos con vocalizaciones de aves rapaces, si no que aumenta a medida que la distancia lineal al arbusto más cercano es menor (Tabla 4).

Tabla 4. Modelo lineal de la variable tiempo comiendo *O. longicaudatus* Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	29,693	5,833	5,090	<0,001
Chuncho	6,551	5,148	1,273	0,205
Concón	-1,797	6,016	-0,299	0,766
Distancia lineal	-0,030	0,015	-2,066	0,041
Prom. altura de vegetación	-0,501	0,325	-1,540	0,126

b) Tiempo en el comedero: El tiempo en el comedero no tiene diferencias significativas en los tratamientos, pero si aumenta significativamente a medida que hay más arbustos, hojas y materia orgánica (Tabla 5.).

Tabla 5. Modelo lineal de la variable tiempo en el comedero *O. longicaudatus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	42,164	20,790	-2,028	0,044
Chuncho	-1,203	4,435	-0,271	0,787
Concón	-6,701	5,309	-1,262	0,209
Arbustos	72,700	35,692	2,037	0,043
Hojas y Materia orgánica	54,318	20,294	2,677	0,008
Luna	10,817	10,776	1,004	0,317

c) Tiempo de movimiento rápido: El movimiento rápido no mostro diferencias significativas en los tratamientos. Si aumenta a medida que hay menos arbustos y la distancia lineal al arbusto más próximo es menor (Tabla 6).

Tabla 6. Modelo lineal de la variable movimiento rápido *O. longicaudatus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	3,372	1,362	2,477	0,014
Chuncho	0,149	1,043	0,143	0,887
Concón	1,720	1,233	1,395	0,165
Arbustos	-24,471	10,044	-2,436	0,016
Distancia lineal	-0,008	0,003	-2,384	0,018
Hierba	18,223	18,012	1,012	0,313

d) Desaparece de cámara: Desaparece más veces de cámara a medida que hay más hojas y materia orgánica (Tabla 7).

Tabla 7. MLG de la variable desaparece de cámara *O. longicaudatus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	2,045	0,778	2,629	0,009
Chuncho	-0,090	0,212	-0,425	0,670
Concón	11,177	5,696	1,962	0,051
Hojas y Materia orgánica	-2,922	0,905	-3,230	0,001

2. Conductas de *R. rattus* que no fueron significativas a algún tratamiento.

a) Número de contactos con la comida: Aumenta significativamente a medida que hay menos luz de luna (Tabla 8).

Tabla 8. MLG de la variable número de contactos con la comida *R. rattus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	1,107	0,774	1,429	0,153
Chuncho	0,240	0,154	1,552	0,121
Concón	0,283	0,187	1,513	0,130
Arbustos	-0,454	1,355	-0,335	0,737
Distancia lineal	<0,001	<0,001	-0,263	0,793
Hierba	1,915	3,169	0,604	0,546
Hojas y materia orgánica	-0,524	0,783	-0,670	0,503
Luna	-0,966	0,418	-2,312	0,021

b) Movimiento rápido: No existen diferencias significativas para esta variable (Tabla 9).

Tabla 9. Modelo lineal de la variable movimiento rápido *R. rattus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
----------	-----------	----------------	---------	---------

Intercepto	0,158	2,447	0,065	0,948
Chuncho	1,731	2,131	0,812	0,418
Concón	2,399	2,127	1,128	0,261
Arbustos	-21,153	12,813	-1,651	0,100
Distancia Lineal	-0,005	0,004	-1,159	0,248
Luna	6,002	3,750	1,601	0,111

c) **Movimiento total:** Aumenta el tiempo de movimiento total a medida que hay más luz de luna (Tabla 10).

Tabla 10. Modelo lineal de la variable movimiento total *R. rattus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	3,819	3,261	1,171	0,243
Chuncho	0,936	2,840	0,330	0,742
Concón	-0,824	2,834	-0,291	0,772
Arbustos	-18,923	17,075	-1,108	0,269
Distancia Lineal	-0,006	0,006	-1,035	0,302
Luna	11,195	4,997	2,240	0,026

d) **Tiempo vigilancia:** Tiempo de vigilancia no tiene diferencias significativas en ningún tratamiento (Tabla 11).

Tabla 11. Modelo lineal de la variable tiempo de vigilancia *R. rattus*. Variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita

Variable	Parámetro	Error Estándar	Valor Z	Valor P
Intercepto	6,623	3,573	1,853	0,065
Chuncho	1,189	3,261	0,365	0,716
Concón	-0,824	2,834	-0,291	0,772
Luna	3,185	5,830	0,546	0,586