



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE PREGRADO

“Ecología espacial de roedores infectados con *Leptospira* spp. en agroecosistemas de Chile Central”

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

RODRIGO GARCÍA DE CORTÁZAR GALLEGOS

Directora del Seminario de Título:

Juana Paola Correa Galaz

Co-Directora del Seminario de Título:

Carezza Botto

Abril 2017
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 el **Sr. Rodrigo García de Cortázar Gallegos**

“Ecología espacial de roedores infectados con *Leptospira* spp. en agroecosistemas de Chile Central”

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

Dra. Juana Paola Correa

Directora Seminario de Título: _____

Dra. Carezza Botto

Co-Directora Seminario de Título: _____

Comisión Revisora y Evaluadora

Dra. Alejandra González

Presidente Comisión: _____

Dr. Francisco Fonturbel

Evaluador: _____

Santiago de Chile, Abril de 2017

BIOGRAFÍA



Nací el 2 de octubre del año 1991, en la ciudad de Santiago. Cursé toda mi enseñanza básica y media en el Colegio Calasanz de Ñuñoa, siempre demostrando un gran interés por el teatro y la biología. Fue durante la enseñanza media, cuando tuve un curso de Ecología, que se armó en mi cabeza el interés de dedicarme a una carrera enfocada en el Medio Ambiente.

Por esa razón, luego de un gran debate mental, dejé de lado la idea de estudiar teatro para entrar a la carrera de Biología Ambiental el año 2010. En esta carrera descubrí mi gusto por la Zoología y Ecología, llegando a ser ayudante de ambos ramos durante varios años. El año 2014 entré al laboratorio de Ecología Evolutiva de la Dra. Botto, donde realicé una unidad de investigación con la Dra. Paola Correa, la que terminó transformándose en el presente seminario de título.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer...

A mis tutores Paola Correa y Carezza Botto...

A mis revisores Alejandra González y Francisco Fonturbel...

A mis padres Ignacio García de Cortázar y Alicia Gallegos...

A la mejor compañera de vida Tamara Zurita...

Al laboratorio de Ecología Evolutiva...

A todos aquellos que trabajaron en terreno para la obtención de los datos Gemma Rojo, Antonella Bacigalupo, Juan Ramírez, Consuelo Sáez, Nicole Morales, Natalia Lártiga, Rodrigo Salgado, Esteban Yefi...

A mis amigos y compañeros...

A la comunidad EJE Nuestra Señora del Carmen...

Al Taller de Improvisación Teatral de la Facultad de Ciencias...

A todos los dueños de los diversos predios agrícolas prospectados...

Al proyecto FONDECYT 3140543...

A todos los roedores pequeños, grandes, gritones, mordedores, escapistas...

... y a todos quienes me ayudaron en la realización de este seminario de título.

¡Muchas Gracias!

ÍNDICE

BIOGRAFÍA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	8
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Sitios de estudio	9
Captura de roedores y obtención de muestras biológicas	10
Determinación de estado de infección por <i>Leptospira</i>	12
Obtención de datos de localización y mínimo polígono convexo.....	12
Análisis de datos	13
RESULTADOS.....	14
DISCUSIÓN	19
CONCLUSIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXO.....	33

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los sitios agrícolas en los que se realizó el estudio según tipo de cultivo y riego.....	10
Tabla 2. Detalle de animales seguidos por captura-marcado-recaptura: Número de animales por especie, mediana de las áreas utilizadas y área estimada según familia	15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Región Metropolitana mostrando los sectores agrícolas prospectados (puntos rojos), áreas urbanas (polígonos grises) y áreas agrícolas (polígonos verdes).....	9
Figura 2. Boxplot de área estimada por captura-marcado-recaptura vs familia. Letras diferentes indican diferencias significativas entre familias.....	16
Figura 3. Frecuencia de infección con <i>Leptospira</i> por especie en roedores seguidos por captura- marcado- recaptura. Ao = <i>Abrothrix olivaceus</i> , Rn = <i>Rattus norvegicus</i> , Rr = <i>Rattus rattus</i> , Mm = <i>Mus musculus</i> , Od = <i>Octodon degus</i>	17
Figura 4. Área estimada por especie y según el estatus de infección. Ao = <i>Abrothrix olivaceus</i> , Od = <i>Octodon degus</i> , Rn = <i>Rattus norvegicus</i> , Rr = <i>Rattus rattus</i>	18

RESUMEN

El ámbito de hogar de un animal está determinado por el sexo, el tamaño corporal, la calidad del hábitat y la distribución del alimento, entre otros factores, además de poder ser afectado por interacciones parasitarias. Diversos estudios muestran el efecto de infecciones por microparásitos sobre la morfología, fisiología y conducta de sus hospederos. Uno de estos microparásitos es *Leptospira* spp., bacteria causante de la Leptospirosis, una zoonosis de preocupación mundial. Esta bacteria puede ser transmitida a los humanos u otros mamíferos a través de la orina de hospederos infectados o ambientes contaminados. Si bien la literatura sugiere que los roedores son los principales hospederos asintomáticos de *Leptospira* spp, la mayoría de los estudios en ellos se han llevado a cabo desde puntos de vista epidemiológicos, morfológicos y fisiológicos, y no desde una aproximación conductual. Por lo anterior, en este seminario se buscó evidenciar efectos de la infección por *Leptospira* spp sobre el uso del espacio de roedores que habitan en sectores agrícolas de Chile Central, utilizando datos de ubicación obtenidos a través de la metodología de captura-marcado-recaptura y estimando el área utilizada mediante el método de mínimo polígono convexo. Considerando un total de 142 animales de seis especies, no se encontraron diferencias significativas en las áreas utilizadas según sexo, especie, sector ni estatus de infección. Sin embargo, se encontró que los Múridos presentaron mayores áreas lo cual, sumado a sus niveles de infección del 24,9%, los convierte en posibles factores de riesgo de diseminación del patógeno. La ausencia de diferencias significativas podría deberse a

que los roedores estudiados posiblemente son hospederos asintomáticos del patógeno y, por lo tanto, no verían afectado mayormente su movimiento. Sin embargo es necesario considerar estos resultados con cautela debido a las restricciones asociadas al método de captura-marcado-recaptura. Este trabajo otorga información útil para la creación de medidas de control efectivas sobre roedores hospederos de *Leptospira*.

ABSTRACT

The home range of an animal is determined by sex, body size, habitat quality and food distribution, among other factors, as well as it is potentially affected by parasitic interactions. Several studies show the effect of infection by microparasites on the morphology, physiology and behavior of their hosts. One of these microparasites is *Leptospira* spp, a bacterium that causes leptospirosis, a zoonosis of worldwide concern. This bacterium can be transmitted to humans or other mammals through the urine of infected hosts or contaminated environments. While the literature suggests that rodents are the main asymptomatic host of *Leptospira*, most studies have been conducted from an epidemiological, morphological and physiological point of view and not from a behavioral approach. Therefore, this study aims to evaluate the effect of infection by *Leptospira* spp on space use of rodents that inhabit agricultural sites of Central Chile, through the methodology of capture-mark-recapture estimating the used area by the minimum convex polygon method. Including a total of 142 animals from six species evaluated, there were no significant differences in the used areas considering sex, species, site or infection status. Nevertheless, murids had larger areas that together with their infection levels of 24.9%, makes them potential risk factors for the spread of the pathogen. These lack of differences could be explained by the fact that rodents living in the central zone of Chile could be asymptomatic hosts of the pathogen and therefore, their movement would not be affected. However, it is necessary to consider these results with caution due to the restrictions associated with the capture-mark-recapture method.

This work grants useful information for creating effective control measures on *Leptospira* host rodents.

INTRODUCCIÓN

Ámbito de hogar

El concepto de ámbito de hogar que suele ser utilizado en ecología corresponde al área donde un animal lleva a cabo sus actividades diarias normales, existiendo múltiples factores tales como el sexo, el tamaño corporal, el tipo de hábitat, entre otros, los que determinan el tamaño de éste. Las áreas deben comprender un espacio donde se presenten los recursos claves necesarios para la sobrevivencia del animal, por lo que el acceso al alimento sería uno de los factores más influyentes (Corbalán y Ojeda, 2005). Por otra parte Powell y Mitchell (2012) definen que el ámbito de hogar corresponde a una parte del mapa cognitivo que los animales mantienen actualizado con el estado de los recursos del ambiente, conformado por lugares donde el animal se encuentra dispuesto a desplazarse con tal de cumplir sus requerimientos. En esta definición se entiende como recursos no solo a los alimentos, sino que también otras necesidades tales como espacio, refugio, hembras, entre otros. Diversos estudios relacionan el ámbito de hogar con el tamaño corporal en mamíferos, planteándose que mientras más grande sea el tamaño del animal, este tendería a utilizar áreas más grandes ya que existirían mayores requerimientos energéticos que satisfacer (Kelt y Van Vuren, 2001; Haskell y col., 2002; Jetz y col., 2004). Dentro de los mamíferos, existen diferencias en el uso del espacio entre machos y hembras en algunas especies como en el roedor *Peromyscus boylii*, en el que los machos usualmente presentan áreas mayores (Ribble y Stanley, 1998). Esto se ha atribuido a que los machos son por lo general más grandes y

compiten por las hembras como recurso (Wolff, 1985; Ribble y Stanley, 1998; Corbalán y Ojeda, 2005).

Existen estudios que muestran el efecto de la estructura del ambiente sobre la conducta de roedores que los habitan. Por ejemplo, Klemann y Pelz (2005) expusieron que colonias de *Rattus norvegicus* modifican su conducta de forrajeo en hábitats con estructuras diferentes. En un sector con menor disponibilidad de alimento, además de altos niveles de perturbación (pocilgas de una granja), se favorecía una mayor actividad durante el día y un ritmo de alimentación más rápido. Por el contrario, en un granero de la misma granja, donde la perturbación era considerablemente menor, los roedores se alimentaban más lento y permanecían mayor tiempo en el lugar de forrajeo. Otro estudio, realizado por Corbalán y Ojeda (2005), encontró que el roedor *Graomys griseoflavus* presenta áreas de acción mayores en un jarillal en comparación a un algarrobal, ya que necesita moverse menos en el algarrobal para alimentarse de las hojas del algarrobo, las cuales corresponden a un alto porcentaje de su dieta.

Efecto de interacciones parasitarias sobre la conducta de sus hospederos

Hospederos infectados con algún parásito pueden presentar diversos efectos como por ejemplo, alteraciones conductuales. El reptil *Sceloporus occidentalis* al encontrarse infectado por el protozoo *Plasmodium mexicanum* presenta una disminución en su agresividad, dominancia y territorialidad debido a una disminución en la testosterona (Schall y Houle, 1992), es decir, los cambios conductuales pueden deberse sólo al efecto negativo del parásito sobre el hospedero. Por otro lado, en mamíferos, otro ejemplo

serían los roedores seropositivos a hantavirus, los cuales presentan áreas de movimiento significativamente menores que los individuos seronegativos, debido a que la salud del animal se ve afectada negativamente provocando que disminuya su movimiento (Amman y col., 2013). Adicionalmente, se ha documentado en Chile que el roedor nativo *Phyllotis darwini* modificaría su uso de espacio dependiendo del estatus de infección por el protozoo *Trypanosoma cruzi* bajo condiciones de estrés o condiciones climáticas adversas (Jiménez y col., 2015). Por otro lado, estas alteraciones conductuales mediadas por parásitos se han atribuido a una mayor probabilidad que el parásito complete su ciclo de vida. Por ejemplo, se ha descrito que roedores infectados con el protozoo *Toxoplasma gondii* no escapan al estar en presencia de orina de algún felino, por lo que se reduce su supervivencia permitiendo indirectamente al parásito completar su ciclo en el felino (Vyas y col., 2007).

Leptospira como modelo de estudio

La leptospirosis es una de las zoonosis bacterianas más comunes y que ha sido identificada como un problema emergente de salud pública a nivel mundial (Bharti y col., 2003). Esta zoonosis tiene un complejo ciclo de transmisión. La bacteria puede ingresar al cuerpo del hospedero a través de heridas, membranas mucosas o al ser aspirada. Esto se produce al entrar en contacto directo con orina infectada o algún cuerpo de agua o suelo en que esté presente la bacteria. Las bacterias que sobreviven a la respuesta inmune inmediata migran rápidamente al torrente sanguíneo para luego colonizar los túbulos proximales renales del animal infectado, liberando posteriormente

la bacteria a través de la orina (Haake, 2006). Algunas especies constituyen hospederos de mantención porque por lo general son portadores asintomáticos y la bacteria puede mantenerse presente en los riñones por un largo periodo de tiempo y de esta forma, liberarse al ambiente a través de la orina (Levett, 2001). Otras especies, incluyendo a los humanos, son hospederos accidentales pudiendo infectarse y desarrollar la enfermedad, pero habitualmente eliminan totalmente a la bacteria del cuerpo después de un periodo variable de tiempo (Haake y Levett, 2015). La bacteria es capaz de sobrevivir en el ambiente sobre todo si éste presenta condiciones favorables tales como alta humedad, un pH cercano a neutro y un óptimo de temperatura inferior a 25°C (Zamora y Riedemann, 1999). En zonas tropicales, fuertes eventos climáticos y precarias condiciones de vida se han asociado con un mayor impacto de la bacteria (Abela-Ridder y col., 2010). Las zonas templadas presentan una menor incidencia de la enfermedad, con pequeños brotes y casos esporádicos (Bharti y col., 2003). Por último, en zonas áridas se cuenta con menos estudios, estando la enfermedad principalmente asociada a la agricultura y a los canales de regadío (Dobigny y col., 2015). La leptospirosis humana es considerada principalmente una enfermedad laboral asociada a actividades como minería, mantención de cañerías, trabajo de granja, medicina veterinaria, entre otros; sin embargo, desde hace un tiempo también se considera una enfermedad asociada a actividades recreacionales que involucran sumergirse en agua (Ko y col., 1999). Por otro lado, la leptospirosis también puede afectar a los animales no humanos, como el ganado doméstico o mascotas, presentando estas especies diferentes manifestaciones clínicas dependiendo de la especie afectada y la variedad de bacteria infectante (Ellis, 2015).

La mantención de la bacteria en el ambiente se atribuye a diversos animales como perros, cerdos, caballos, murciélagos, ganado bovino, entre otros. Sin embargo, los roedores son considerados uno de los principales hospederos de mantención de este patógeno debido a que presentan, por lo general, una infección crónica y no se ven afectados notoriamente por la infección (Himsworth y col., 2013; Barragan y col., 2017). Esto podría deberse a que probablemente los roedores han coevolucionado con algunas variedades de la bacteria (serovares). Existen serovares infecciosos asociados a ciertas especies de roedores, por ejemplo los serovares *icterohaemorrhagiae* o *interrogans* se han encontrado relacionados sistemáticamente, en diversas zonas y ambientes, con las especies del género *Rattus*. Otros serovares como *pomona*, *sejroe*, *copenhageni* y *tarassovi* se han asociado con *Abrothrix longipillis*, *Abrothrix olivaceus* y *Oligorizomys longicaudatus* pero no es posible asumir una coevolución debido a que esta asociación se encuentra poco estudiada y sólo se ha identificado dentro de Chile (Zamora y Riedemann, 1999; Bharti y col., 2003). Debido a que los roedores son animales que pueden habitar una gran diversidad de ambientes y los esfuerzos de control que se realizan sobre éstos muchas veces no resultan efectivos, estos animales pueden ser capaces de mantener la bacteria en el ambiente convirtiéndose en un factor de riesgo de infección preocupante (Sudarmaji y col., 2003). Los roedores del género *Rattus*, en particular la rata parda (*Rattus norvegicus*) y la rata negra (*Rattus rattus*), son los principales hospederos de mantención de *Leptospira* en sitios urbanos y agrícolas (Himsworth y col., 2013). Estos animales son cosmopolitas y presentan hábitos principalmente nocturnos con una gran habilidad para nadar y trepar obstáculos. Presentan una organización social definida, existiendo dominancia de machos y

hembras en sus respectivos sexos, donde la dominancia se expresa en el acceso diferencial a recursos tales como espacio, comida o agua, y en el caso de los machos se agrega el acceso a hembras (Ziporyn y Himsforth, 1991). Además poseen una gran capacidad para adaptarse rápida y fácilmente a variados ambientes y recursos, encontrándose incluso en áreas naturales lejos de asentamientos humanos (Lobos y col., 2005). Por otro lado, estos roedores son una de las especies invasoras más problemáticas, debido a que causan grandes impactos sobre la flora y fauna endémica de los lugares que invaden (Nowak, 1991).

Situación en Chile

En Chile se ha detectado infección por *Leptospira* en roedores del género *Rattus* presentando en el sur de Chile frecuencias de infección de un 17,6% obtenido a través de diagnósticos serológicos, aislamiento, tinciones inmunoquímicas y aglutinación microscópica (Zamora y Riedemann, 1999). En Chile continental existen dos especies de este género: *R. norvegicus* y *R. rattus*. El primero es un roedor originario de China, mientras que el segundo es originario de India; estas especies ingresaron al país a través de los barcos que llegaban al país desde Europa y Asia en el siglo XIX (*R. norvegicus*) y XVI (*R. rattus*) (Iriarte, 2008). Además en el país se ha detectado infección por *Leptospira* en otras especies de roedores tales como *A. olivaceus*, *A. longipilis*, *Mus musculus*, *Geoxus valdivianus*, *O. longicaudatus*, *Phyllotis darwini* y *Octodon degus* (Zamora y Riedemann, 1999; Muñoz-Zanzi y col., 2014; Correa y col., 2017). Aun cuando se cuenta con esta información de infección por *Leptospira* en roedores presentes en Chile, no se han realizado estudios para evaluar el efecto que tiene la

bacteria sobre ellos, razón por la cual no han sido descritos como hospederos de mantención de este parásito.

Los terrenos agrícolas son sectores donde existe una gran oferta de alimento y agua, además de condiciones climáticas favorables para los animales que se encuentren en ellos. Los roedores son animales que se asocian comúnmente a estos sectores debido a que les proveen de recursos y refugio, traduciéndose en un mayor éxito reproductivo. Por otra parte, las actividades agrícolas se han descrito como un factor de riesgo para leptospirosis en población humana debido a que las personas que trabajan en dichos lugares se ven expuestos a múltiples componentes del paisaje en los que puede estar presente la bacteria, tales como pozas, lagunas, riachuelos, y canales, entre otros (Bharti y col., 2003).

Si bien se plantea que los roedores son hospederos asintomáticos de *Leptospira* spp., esto se ha analizado principalmente desde puntos de vista epidemiológicos, morfológicos y fisiológicos. Por ejemplo, se ha utilizado a *R. norvegicus* como modelo para analizar la diseminación de *Leptospira* ya que el proceso de colonización renal no resulta en lesiones histopatológicas importantes o en la muerte del individuo (Athanzio y col., 2008). Por lo anterior, realizar una aproximación desde el punto de vista conductual, específicamente desde el uso del espacio y en alguna de las especies más ubicuamente asociada a la infección por esta bacteria, se hace sumamente necesario para mejorar los esfuerzos de control sobre la enfermedad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar diferencias en el uso del espacio de roedores presentes en agroecosistemas de la Región Metropolitana de Chile, en función de su estatus de infección por *Leptospira* spp.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Describir el uso de espacio de los roedores presentes en agroecosistemas de la Región Metropolitana de Chile.
- Evaluar la existencia de diferencias en el uso del espacio según variables bióticas y abióticas.
- Evaluar la existencia de diferencias en el uso del espacio según estatus de infección por *Leptospira* spp.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

Este estudio se llevó a cabo en 13 predios agrícolas de la depresión intermedia de la Región Metropolitana ($32^{\circ}55'$ y $34^{\circ}19'$ S, y entre los $69^{\circ}47'$ y $71^{\circ}43'$ O) (Figura 1). Para la obtención de la información se utilizaron los datos espaciales previamente recolectados mediante el método de captura-marcado-recaptura (CMR) (Lira y Fernandez, 2008).

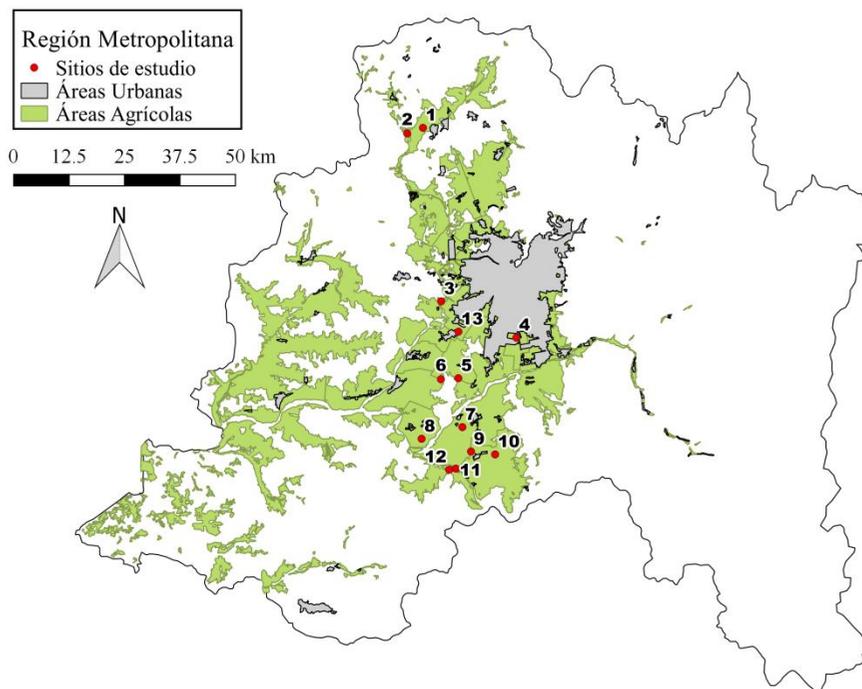


Figura 1. Mapa de la Región Metropolitana mostrando los sectores agrícolas prospectados (puntos rojos), áreas urbanas (polígonos grises) y áreas agrícolas (polígonos verdes).

Tabla 1. Características de los sitios agrícolas en los que se realizó el estudio según tipo de cultivo y riego. La columna N° indica el número del sitio en la Fig. 1.

N°	Comuna	Sector	Cultivo predominante	Riego
1	Til Til	Alfalfal	Alfalfa	Inundación
2	Til Til	Tunal	Tuna	Sin riego
3	Maipú	Rinconada Maipú	Mixto	Inundación
4	La Pintana	Antumapu	Mixto	Inundación
5	Calera de Tango	La Batalla	Viña	Goteo
6	Talagante	Loreto	Alfalfa	Inundación
7	Buin	Cervera	Frutales	Goteo
8	Isla de Maipo	Isla de Maipo	Viña	Goteo
9	Buin	Semillero	Alfalfa	Inundación
10	Paine	Paine	Frutales	Goteo
11	Paine	Nicolás	Frutales	Inundación
12	Paine	Collipeumo	Frutales	Goteo
13	Maipú	Guisela Maipú	Mixto	Inundación

Captura de roedores y obtención de muestras biológicas

Se estudiaron los predios agrícolas durante dos temporadas (verano y primavera de 2014), siendo siete sectores prospectados en ambas temporadas, tres sólo en verano y tres sólo en primavera. En cada sector se posicionaron por cuatro noches 100 trampas de captura viva (Rodentrap®, Forma Ltda) cebadas con avena, queso rallado y motas de algodón. Las trampas se posicionaron con una separación de 10 metros una de la otra y fueron activadas durante las noches para luego ser revisadas en las mañanas. Cada

trampa fue georreferenciada con un GPS modelo eTrex (error ≤ 10 m) para poder obtener las posiciones de captura y recaptura de los roedores.

Los roedores capturados se trasladaron al laboratorio donde se les realizó una inducción anestésica con isoflurano, para luego de pesarlos proceder a una anestesia parenteral con Ketamina + Xilazina (40-85 mg/kg ketamina y 5-21 mg/kg xilazina; Kohn y col., 1997). Posteriormente se registró especie, sexo y largo entre nariz/base de cola. Además, a cada animal se le extrajo sangre y orina para la determinación del estatus de infección. La sangre se extrajo en un volumen máximo del 1% de peso corporal (P/V), por punción de la vena safena en *Rattus rattus*, *Rattus norvegicus* y *Octodon degus*; punción de la vena masetérica en *Phyllotis darwini*; o extracción desde vena yugular en *Abrothrix olivaceus*. La orina se extrajo desde la uretra terminal luego de estimular la micción por presión externa de la vejiga urinaria. Por último, cada animal fue marcado con un crotal auricular que presentaba un código único para poder identificar los roedores recapturados en terreno.

El manejo de los animales se realizó de acuerdo a lo aprobado por el Comité de Bioética y Bioseguridad de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile para el proyecto FONDECYT 3140543 (Ecoepidemiología de *Leptospira*: Evaluación de la asociación entre prevalencia de infección en *Rattus norvegicus* y diversidad comunitaria en paisajes agrícolas de Chile central. IP: Dra. Juana P. Correa) como también con lo especificado por el Comité de Uso y Cuidado Animal de la Sociedad Americana de Mastozoología (Sikes y col., 2016).

Determinación de estado de infección por Leptospira

Para determinar el estatus de infección se utilizaron dos aproximaciones:

1. Una prueba de Microaglutinación (MAT, por su sigla en inglés) fue realizada con un panel de 15 serovares (OIE, 2008); una muestra fue considerada positiva si aglutinó al menos 25% de los antígenos (bacterias) en una dilución del suero de 1:25.
2. La orina fue sometida a una reacción en cadena de la polimerasa (PCR) anidada con partidores dirigidos a especies patógenas del género (Jouglard y col., 2006). Cada muestra fue analizada por triplicado y fueron consideradas positivas cuando al menos dos reacciones mostraron una banda visible.

Un animal fue considerado infectado cuando al menos una de las dos pruebas de diagnóstico (MAT o PCR) dio un resultado positivo.

Obtención de datos de localización y mínimo polígono convexo

Sólo roedores con una o más recapturas fueron considerados para la estimación de sus áreas. Alrededor de cada trampa se construyó un buffer de 5 metros de manera de suavizar los límites del área a estimar además de poder obtener un área para aquellos individuos que fueron capturados múltiples veces en una misma trampa

El área utilizada por cada animal se estimó utilizando el método del mínimo polígono convexo (MPC), el cual consiste en unir linealmente los datos de posición puntuales periféricos de manera de formar un polígono convexo lo más pequeño posible, a partir

del contorno de los datos puntuales (Mohr, 1947). Para esta estimación se utilizó el software QGIS (herramienta de geoprosos para envolventes convexas) (QGIS Essen 2.14.3).

Análisis de datos

Se realizaron análisis para comparar las áreas estimadas según especie, sexo, familia, temporada (verano y primavera) y estatus de infección. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el Software R (R Core Team, 2016). Se realizó una prueba de Shapiro para poder evaluar la normalidad de los datos y una prueba de Barlett para evaluar la homogeneidad de varianza. En caso de no presentar normalidad se utilizó un test de Kruskal-Wallis y ANOVA o Test de t cuando los datos fueron normales. Para aquellos análisis que implicaron comparaciones múltiples, el valor de alfa se corrigió por Bonferroni y luego se sometieron a pruebas *a posteriori* (función “*kruskalmc*”) para identificar el tratamiento diferente.

RESULTADOS

Objetivo específico (OE) 1: Describir el uso de espacio de los roedores habitantes en agroecosistemas de la Región Metropolitana de Chile.

A través del método de CMR se capturaron 613 animales pertenecientes a las familias Muridae (*Rattus rattus*, *Rattus norvegicus*, *Mus musculus*), Cricetidae (*Abrothrix olivaceus*, *Phyllotis darwini*) y Octodontidae (*Octodon degus*). Las especies más abundantes fueron *A. olivaceus* y *R. rattus*. El roedor nativo *A. olivaceus* representó el 39% de las capturas encontrándose en el 77% de los sitios. Por otra parte, la especie introducida *R. rattus* correspondió al 33% de las capturas estando presente en el 85% de los sitios estudiados. Sólo 142 individuos presentaron una o más recapturas (Tabla 1), siendo por tanto posible estimar su uso del espacio. El área promedio general (\pm DE) estimada mediante esta metodología fue de 0,0498 (\pm 0,0459) ha con un rango promedio por especie de entre 0,0165 ha (*O. degus*) y 0,0691 (*M. musculus*) (Tabla 1).

Tabla 2. Detalle de animales seguidos por captura-marcado-recaptura: Número de animales por especie, mediana de las áreas utilizadas y área estimada según familia.

Familia	Especie	Número de animales	Mediana del área (ha)	Área según familia (ha)
Cricetidae	<i>Abrothrix olivaceus</i>	56	0,0177	0,0177
	<i>Phyllotis darwini</i>	2	0,0171	
Muridae	<i>Rattus norvegicus</i>	16	0,0273	0,0279
	<i>Rattus rattus</i>	48	0,0302	
	<i>Mus musculus</i>	3	0,0697	
Octodontidae	<i>Octodon degus</i>	17	0,0135	0,0135

OE2: Evaluar la existencia de diferencias en el uso del espacio según variables bióticas y abióticas.

El análisis para evaluar diferencias entre sexos y entre temporadas (Test de Kruskal-Wallis), no arrojó diferencias significativas ($P = 0,240$ y $P = 0,650$, respectivamente). En cuanto a las diferencias entre sectores, especies y familias, el análisis mostró que al menos un tratamiento era diferente (Entre especies: $P = 0,002$; entre sectores: $P = 0,041$; entre familias: $P = 0,004 \times 10^{-1}$). Sin embargo, el test *a posteriori* (Comparaciones múltiples) entre familias fue el único que mostró diferencias significativas en la comparación de a pares, siendo los múridos los que mostraron ser diferentes significativamente en cuanto a su uso del espacio, mostrando áreas utilizadas superiores (Figura 2).

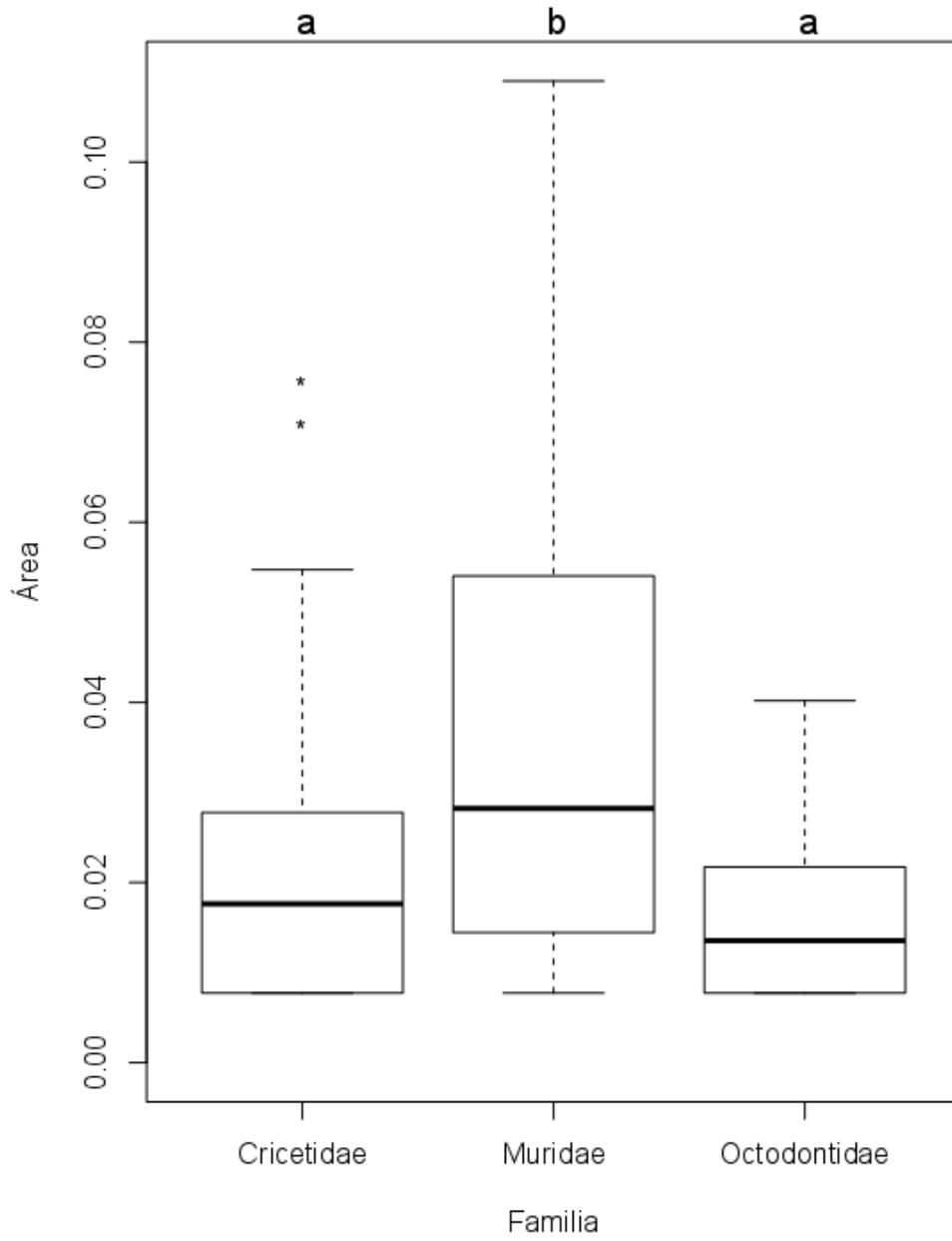


Figura 2. Boxplot de área estimada por captura-marcado-recaptura vs familia. Letras diferentes indican diferencias significativas entre familias

OE3: Evaluar la existencia de diferencias en el uso del espacio según estatus de infección por *Leptospira* spp.

De los 613 roedores capturados, un 21,5% se encontró infectado. De los roedores que presentaron recapturas (142), un 30,3% se encontró infectado. *Rattus norvegicus* fue en general la especie más infectada (31,9% de todos los individuos capturados estuvo infectado, rango por sitio: 0% a 41,6%), aunque no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas con las demás especies (Chi-cuadrado, $\chi^2 = 2,702$; $P = 0,608$) (Figura 3). No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el área usada según estatus de infección en el total de individuos (Test de Kruskal-Wallis, $H = 2,501$; $P = 0,114$), como tampoco en cada especie por separado (Test de Kruskal-Wallis; Ao, $H = 0,26$, $P = 0,612$; Rn, $H = 3,84$, $P = 0,0501$; Od, $H = 1,54$, $P = 0,214$; Rr, $H = 0,312$, $P = 0,576$) (Figura 4).

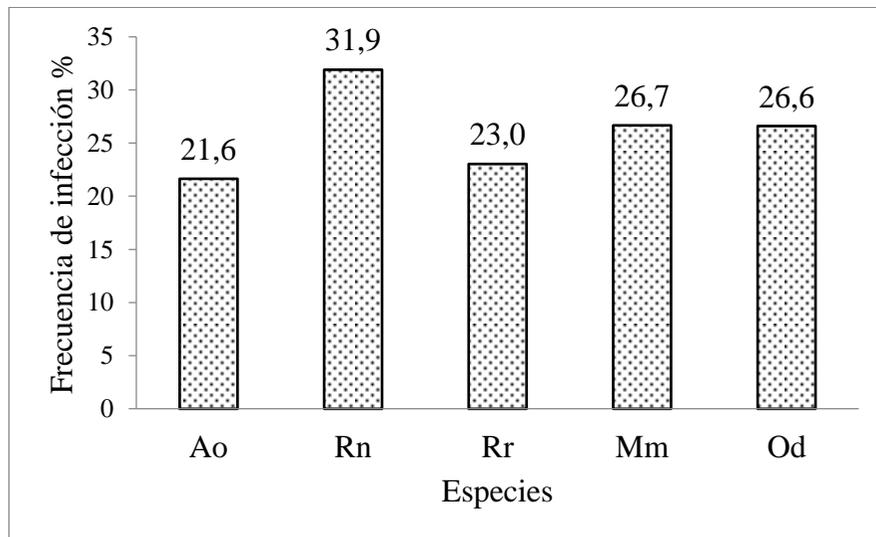


Figura 3. Frecuencia de infección con *Leptospira* por especie en roedores seguidos por captura- marcado-recaptura. Ao = *Abrothrix olivaceus*, Rn = *Rattus norvegicus*, Rr = *Rattus rattus*, Mm = *Mus musculus*, Od = *Octodon degus*.

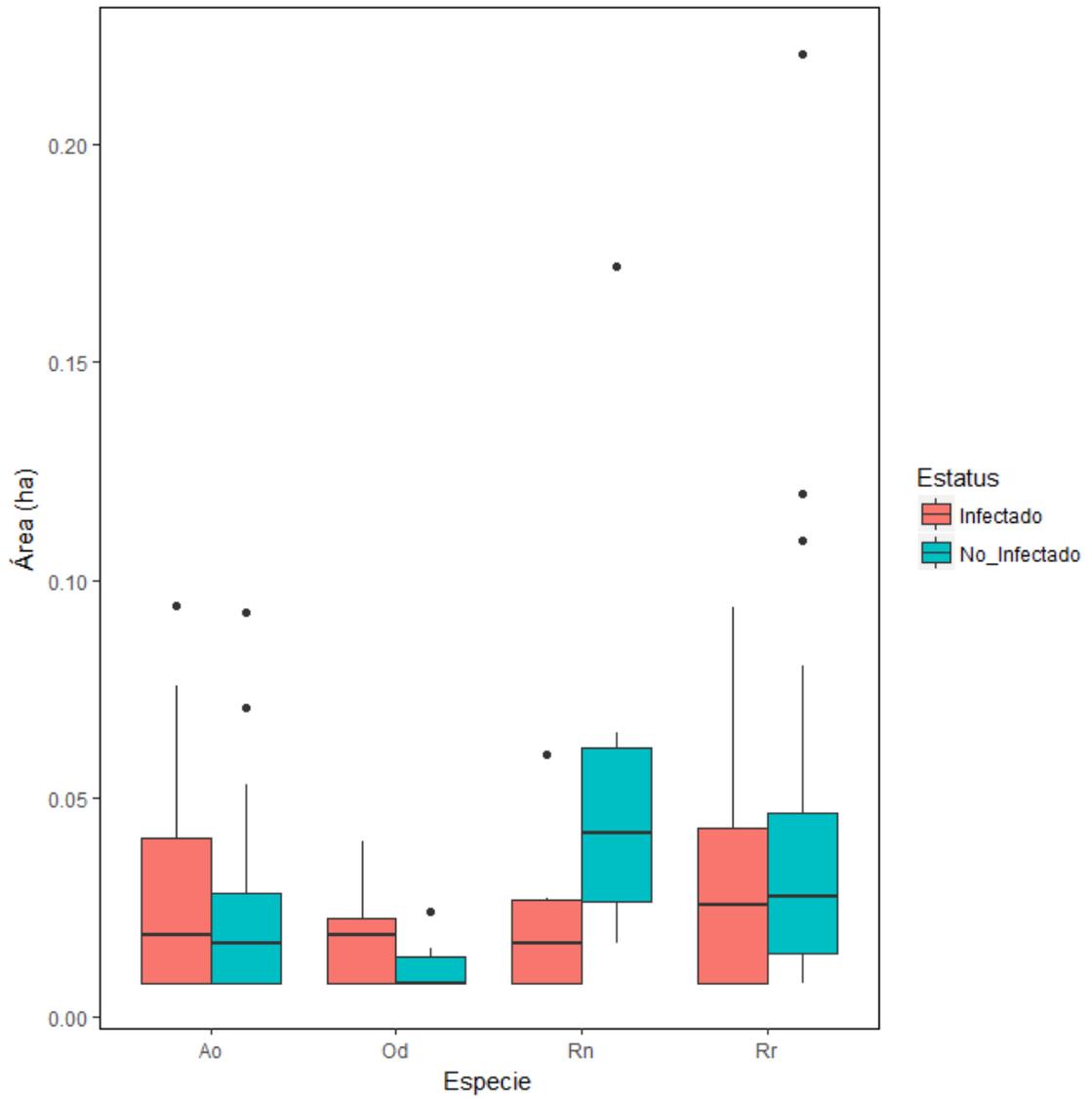


Figura 4. Área estimada por especie y según el estatus de infección. Ao = *Abrothrix olivaceus*, Od = *Octodon degus*, Rn = *Rattus norvegicus*, Rr = *Rattus rattus*. Los puntos negros corresponden a outliers.

DISCUSIÓN

En este estudio se capturaron seis especies de roedores pertenecientes a tres familias, con áreas individuales estimadas que fluctuaron entre 0,0077 y 0,221 ha. El que los múridos presentaran un uso del espacio significativamente diferente y superior (Figura 2) que cricétidos y octodóntidos, estaría indicando que esta familia de roedores podría ser un dispersor importante de *Leptospira* en el ambiente, ya que por una parte *R. norvegicus* y *R. rattus* mostraron altas frecuencias de infección (31,9% y 23,0%, respectivamente), y además se encontraron en gran parte de los sitios prospectados (85% de los sitios para *R. rattus* y 69% de los sitios para *R. norvegicus*). Los múridos que se encuentran en Chile, debido a sus características invasoras, presentan una gran capacidad para desplazarse, adaptándose a los ambientes intervenidos por el humano con mayor eficiencia que las especies nativas (Nowak, 1991), lo que los convierte en grandes factores de riesgo de diseminación del patógeno.

En cuanto a las especies nativas de la zona central de Chile, existen diferencias claras de comportamiento y estilo de vida entre cricétidos y octodóntidos, siendo los primeros animales solitarios y de actividad principalmente nocturna, en cambio los octodóntidos (en este caso específico, *O. degus*) son roedores coloniales con actividad principalmente diurna (Iriarte, 2008). Existen estudios que asocian positivamente el tamaño corporal al área que utilizan algunos roedores cricétidos, por lo cual, el que estos roedores utilicen menores áreas se podría explicar debido a su pequeño tamaño corporal. Sin embargo, debido a esto último, se esperaría que octodóntidos presentasen áreas superiores a cricétidos, ya que su peso adulto promedio es mayor (191,3 g vs 27,0 gr para *A.*

olivaceus y 65,0 g para *P. darwini* (Veloso y col., 2004)), sin embargo, esto no fue observado en esta investigación. Esto podría deberse a que los animales que construyen madrigueras (*O. degus*) suelen hacerlo en aquellos sectores donde realizan la mayor parte de sus actividades, lo que restringiría el área de uso del espacio al tamaño de éstas (Yahner, 1978).

Los sitios agrícolas estudiados presentaban diferentes tipos de plantaciones (alfalfa, tuna, frutales, viñas, entre otros) y de riego (inundación, goteo o sin riego), por lo que podría esperarse que existiesen diferencias de uso del espacio según el sitio prospectado (Tabla 2). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la comparación entre sitios. Esto podría deberse a que los sitios agrícolas, por lo general, presentan una oferta homogénea de alimento para los roedores por lo que el desplazamiento no presentaría mayores variaciones entre sitios (Klemann y Pelz, 2005). Por otro lado, no se cuenta con la misma cantidad de datos por sitio, pudiendo deberse esto a diferencias en abundancia y densidad de roedores como también por un éxito de muestreo diferencial, lo cual podría estar afectando los análisis estadísticos realizados, ocultando posibles diferencias en el uso del espacio según el sitio.

En cuanto a las diferencias entre sexos, para roedores se ha descrito que existe un mayor uso del espacio por los machos durante el periodo reproductivo (Lozada y col., 1996). Por ejemplo, en la literatura se reporta que los apareamientos de *R. rattus* y *R. norvegicus* se concentran en primavera y verano (Iriarte, 2008). Para ambas especies se ha descrito que no existen diferencias significativas en el uso del espacio durante época no reproductiva, pero en periodo reproductivo los machos presentarían áreas superiores

a las hembras (Dowding y Murphy, 1994; Gómez y col., 2008). Esta diferencia no se detectó en este estudio con los datos recolectados. En cuanto a *A. olivaceus*, el período reproductivo se extiende entre los meses de septiembre a marzo en Santiago (Muñoz y Yáñez, 2009), por lo que para la fecha en que se realizó CMR, el roedor se encontraría dentro de este período. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas. Por último, *O. degus* se aparea entre los meses de mayo y junio (Rojas y col., 1977), por lo que este roedor no se encontraría en su periodo reproductivo al momento de realizar la investigación, lo que podría explicar la ausencia de diferencias significativas. Este resultado coincide con lo obtenido por otras investigaciones que muestran que las áreas para ambos sexos en periodos no reproductivos son similares (Emlen y Oring, 1977; Quirici y col., 2010).

Las faltas de diferencias entre las variables estudiadas pueden deberse a la baja cantidad de recapturas por individuo o también a la escasa cantidad de días de seguimiento. El diseño de trapeo presentó múltiples limitaciones que son propias del método, como por ejemplo la cantidad limitada de trampas, la posición fija de estas en la matriz y la imposibilidad de colocarlas en toda la superficie prospectada (Börger y col., 2006). Una forma de mejorar esto, sería realizar las capturas colocando las trampas conformando una “red de araña” (Parmenter y col., 2003), de manera de cubrir sectores que se encuentren fuera de los caminos. Sin embargo, esta metodología sería difícil de implementar ya que los sitios muestreados fueron predios agrícolas donde el trabajo diario de personas dentro de sus faenas agrícolas podría obstaculizar el correcto funcionamiento de las trampas.

Por otro lado, se describe que roedores pertenecientes al género *Rattus* muestran una infección crónica y asintomática de la bacteria, lo que los convierte en buenos modelos de estudio, a diferencia de la infección vista en los conejillos de India (*Cavia porcellus*), la cual es aguda y letal (Athanzio y col., 2008). Podría ser que los roedores seguidos en este estudio presenten una infección asintomática, lo cual podría explicar la ausencia de diferencias entre infectados y no infectados. Sin embargo, sería necesario realizar estudios sobre la patogenia de la infección en ellos ya que, por ejemplo, el cricétido hámster dorado (*Mesocricetus auratus*) desarrolla una enfermedad aguda y letal (Haake, 2006), por lo que se podría esperar que los cricétidos del país podrían reaccionar de manera similar. Adicionalmente, a pesar que las comparaciones según estatus de infección dentro de cada especie no arrojaron resultados estadísticamente significativos, *R. norvegicus* presentó diferencias marginalmente significativas ($P = 0,0501$). Esto podría indicar que los roedores infectados de esta especie utilizarían menores áreas en comparación a los no infectados, posiblemente debido a un efecto negativo de la bacteria sobre el individuo, lo que iría en contra de lo documentado comúnmente para esta especie. Sin embargo, algunos estudios indican efectos de la infección por *Leptospira* en los riñones de *R. norvegicus* que se evidencian por la existencia de nefritis intersticial atribuible a la densa carga de la bacteria en los túbulos proximales renales (Tucunduva de Faria y col., 2007; Agudelo-Flórez y col., 2013). Por lo tanto, se podría pensar que la infección por *Leptospira* en condiciones naturales en algunos ejemplares de esta especie podría asociarse a una alta carga parasitaria, lo que podría manifestarse en alteraciones subclínicas suficientes para modificar algunos parámetros conductuales que no se consideran habitualmente en la evaluación de la patogenia de

esta infección. Por tal motivo, se sugiere que la evaluación del efecto de la infección por *Leptospira* en estudios futuros, debería incluir no sólo el estatus de infección (como variable binaria), sino también la carga parasitaria en los individuos infectados. Por otra parte, como es posible ver en la Figura 3, existió un dato de los roedores no infectados que se aleja de la distribución general de los datos (*outlayer*), el cual podría estar generando esta diferencia marginalmente significativa. Una forma de robustecer los resultados obtenidos, sería el poder realizar un seguimiento de los roedores a través del método de Radiotelemetría de manera de contar con datos de movimientos más representativos del animal ya que este método no presenta las limitaciones descritas para CMR (Harris y col., 1990; Lira y Fernández, 2008; Börger y col., 2016).

CONCLUSIONES

No existieron diferencias significativas en el uso del espacio entre roedores infectados y no infectados por *Leptospira*. Esto podría deberse a que los roedores que habitan en la zona central de Chile desarrollan una infección asintomática, la cual podría no tener mayores efectos en el movimiento de estos animales. Sin embargo, esta información debe ser tomada con cautela debido a las múltiples limitaciones del método de CMR. Sin embargo, se detectó que los múridos presentaron áreas utilizadas superiores en comparación a cricétidos y octodóntidos, lo cual sumado a que *R. norvegicus* y *R. rattus* presentaron una alta frecuencia de infección por *Leptospira*, los torna en importantes factores de riesgo para la diseminación de la bacteria en Chile.

Se propone realizar mayores estudios sobre los diversos roedores que podrían constituir reservorios de *Leptospira*, entendiendo como reservorios a una o más poblaciones o ambientes conectados epidemiológicamente, en los cuales el patógeno puede mantenerse permanentemente y desde el cual la infección es transmitida a la población objetivo (en este caso, humanos) (Haydon y col., 2002) para poder así demarcar de mejor manera la dinámica de transmisión y mantención de esta bacteria. Estos estudios podrían evaluar el uso del espacio con metodologías como radiotelemetría, la que ha mostrado una mejor estimación del uso de espacio; o CMR por largos periodo de tiempo con un diseño de muestreo en forma de red de araña. Además se debería evaluar no sólo el estatus de infección de los hospederos para *Leptospira* spp, sino también la carga parasitaria.

Finalmente, este estudio entrega antecedentes previamente no descritos sobre la ecología espacial de roedores hospederos de *Leptospira* en ambientes agrícolas en Chile Central, los cuales pueden resultar importantes para conocer, estudiar y controlar las enfermedades que son transmitidas por estos animales.

BIBLIOGRAFÍA

Abela-Ridder B., Sikkema R. y Hartskeerl R. 2010. Estimating the burden of human leptospirosis. *Int J Antimicrob Agents*. **36**: 5-7.

Agudelo-Flórez P., Murillo V., Londoño A. y Rodas J. 2013. Histopathological kidney alterations in rats naturally infected with *Leptospira*. *Biomédica*. **30**: 82-88.

Amman B., Manangan A., Flietstra T., Calisher C., Carroll D., Wagoner K. y Mills J. 2013. Association between movement and sin nombre virus (Bunyaviridae: Hantavirus) infection in North American Deermice (*Peromyscus maniculatus*) in Colorado. *J Wildl Dis*. **49**: 132-145.

Athanazio D., Silva E., Santos C., Rocha G., Vannier-Santos M., McBride A., Ko A. y Reis M. 2008. *Rattus norvegicus* as a model for persistent renal colonization by pathogenic *Leptospira interrogans*. *Acta Trop*. **105**: 176-180.

Barragan V., Nieto N., Keim P. y Pearson T. 2017. Meta-analysis to estimate the load of *Leptospira* excreted in urine: beyond rats as important sources of transmission in low-income rural communities. *BMC Res Notes*. **10**: 71.

Bharti A., Nally J., Ricaldi J., Matthias M., Diaz M., Lovett M., Levett P., Gilman R., Willig M., Gotuzzo E. y Vinetz J. 2003. Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. *Lancet Infect Dis*. **12**: 757-771.

- Börger L., Franconi N., De Michele G., Gantz A., Meschi F., Manica A., Lovari S. y Coulson T. 2006. Effects of sampling regime on the mean and variance of home range size estimates. *J Anim Ecol.* **73**: 1393-1405.
- Corbalán V. y Ojeda R. 2005. Áreas de acción en un ensamble de roedores del Desierto del Monte (Mendoza, Argentina). *Mastozool Neotrop.* **12**: 145-152.
- Correa P., Bacigalupo A., Botto-Mahan C., Bucarey S., Cattán P., García de Cortázar R., Landaeta-Aqueveque C. y Ramírez J. 2017. Natural infection of *Leptospira* species in the native rodents Degu (*Octodon degus*) and Darwin's pericote (*Phyllotis darwini*) in Mediterranean ecosystem of Chile. *J Wildl Dis.* DOI: 10.7589/2016-11-.
- Dobigny G., Garba M., Tatard C., Loiseau A., Galan M., Kadaouré I., Rossi J., Picardeau M. y Bertherat E. 2015. Urban market gardening and rodent-borne pathogenic *Leptospira* in arid zones: a case study in Niamey, Niger. *PLoS Negl Trop Dis* **9**: 1-15.
- Dowding J. y Murphy E. 1994. Ecology of ship rats (*Rattus rattus*) in a kauri (*Agathis australis*) forest of Northland, New Zealand. *New Zeal J Ecol.* **18**: 19-28.
- Ellis W. 2015. Animal leptospirosis. *Curr Top Microbiol Immunol.* **387**: 99-137.
- Emlen S. y Oring L. 1977. Ecology, sexual selection, and the evolution of mating systems. *Science.* **197**: 215-223.
- Gómez I., Muschetto E. y Busch M. 2008. Movimientos de ratas noruegas (*Rattus norvegicus*) en dos granjas avícolas de Exaltación de la Cruz, Buenos Aires, Argentina. *Mastozool Neotrop.* **15**: 203-208.

Haake D. 2006. Hamster Model of Leptospirosis. *Curr Protoc Microbiol Immunol.* **12**: 1-16.

Haake D. y Levett P. 2015. Leptospirosis in humans. *Curr Top Microbiol Immunol.* **387**: 65-97.

Harris S., Cresswell W., Forde P., Trehwella W., Woollard T. y Wray S. 1990. Home range analysis using radio-tracking data – a review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals. *Mammal Review.* **20**: 97–123.

Haskell J., Ritchie M. y Olf H. 2002. Fractal geometry predicts varying body size scaling relationship for mammal and bird home ranges. *Nature.* **418**: 527-530.

Haydon D., Cleaveland S., Taylor L. y Laurenson M. 2002. Identifying Reservoirs of Infection: A Conceptual and Practical Challenge. *Emerg Infect Dis.* **8**: 1468-1473.

Himsworth C., Bidulka J., Parsons K., Feng A., Tang P., Jardine C., Kerr T., Mak S., Robinson J. y Patrick D. 2013. Ecology of *Leptospira interrogans* in Norway Rats (*Rattus norvegicus*) in an Inner-City Neighborhood of Vancouver, Canada. *PLoS Negl Trop Dis.* **7**: 1-9.

Iriarte A. 2008. Mamíferos de Chile. pp 105-355. Lynx Edicions. Barcelona, España.

Jetz W., Carbone C., Fulford J. y Brown J. 2004. The scaling of animal space use. *Science.* **306**: 266-288.

Jiménez C., Fontúrbel F.E., Oda E., Ramírez P. y Botto-Mahan C. 2015. Parasitic infection alters rodent movement in a semiarid ecosystem. *Mamm Biol.* **80**: 255-259.

- Jouglard S., Simionatto S., Seixas F., Nassi F. y Dellagostin O. 2006. Nested polymerase chain reaction for detection of pathogenic leptospires. *Can J Microbiol.* **52**: 747-752.
- Kelt y Van Vuren, 2001. The ecology and macroecology of mammalian home range Area. *Am Nat.* **157**: 637-645.
- Klemann N. y Pelz H. 2005. The feeding pattern of the Norway rat (*Rattus norvegicus*) in two differently structured habitats on a farm. *Appl Anim Behav Sci.* **97**: 293-302.
- Ko A., Reis M., Ribeiro C., Johnson W. y Riley L. 1999. Urban epidemic of severe leptospirosis in Brazil. *Lancet Infect Dis.* **354**: 820–825.
- Kohn D., Wixson S., White W. y Benson G. 1997. pp 426. Anesthesia and analgesia in laboratory animals. Academic Press, San Diego, EEUU.
- Levett P. 2001. Leptospirosis. *Clin Microbiol Rev* **14**: 296–326.
- Lira P. y Fernández F. 2008. A comparison of trapping-and radiotelemetry-based estimates of home range of the neotropical opossum *Philander frenatus*. *Mamm Biol.* **74**: 1-8.
- Lobos G., Ferres M. y Palma E. 2005. Presence of the invasive genera *Mus* y *Rattus* in natural areas in Chile: an environmental and epidemiological risk. *Rev Chil Hist Nat.* **78**: 113-124.
- Lozada M., Monjeau A., Heinemann K., Guthmann N. y Birney E. 1996. *Abrothrix xanthorhinus*. Mammalian species. *J Mammal.* **540**: 1-6.

Mohr C. 1947. Table of equivalent populations of North American small mammals. *Am Midl Nat.* **37**: 223-249.

Muñoz-Zanzi C., Mason M., Encina C., Gonzalez M. y Berg S. 2014. Household characteristics associated with rodent presence and *Leptospira* infection in rural and urban communities from southern Chile. *Am J Trop Med Hyg.* **90**: 497-506.

Muñoz A. y Yañez J. 2009. Mamíferos de Chile. Cea Ediciones. Valdivia, Chile. **2**: 104.

Nowak R. 1991. Walker's mammals of the world. pp. 101-110. Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). 2008. Manual de las pruebas de diagnóstico y de las vacunas para los animales terrestres. Disponible en: <http://www.oie.int/es/normas-internacionales/manual-terrestre/acceso-en-linea/> (fecha de consulta: 27 de marzo de 2017)

Parmenter R., Yates T., Anderson D., Burnham K., Dunnun J., Franklin A., Friggens M., Lubow B., Miller M. y Olson G. 2003. Small-mammals density estimation: a field comparison of grid-based vs. web-based density estimators. *Ecol Monogr.* **73**: 1-26.

Powell R. y Mitchell M. 2012. What is a home range?. *J Mammal.* **93**: 948-958.

Quirici V., Castro R., Ortiz-Tolhuysen L., Chesh A., Burger J., Miranda E., Cortés A., Hayes L. y Ebersperger L. 2010. Seasonal variation in the range areas of the diurnal rodent *Octodon degus*. *J Mammal.* **91**: 458-466.

R Core Team 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Disponible en: <http://www.R-project.org/> (fecha de consulta: 27 de marzo de 2017)

Ribble D. y Stanley S. 1998. Home range and social organization of syntopic *Peromyscus boylii* and *P. truei*. *J Mammal.* **79**: 932-941.

Rojas M., Rivera O., Montenegro G. y Barros C. 1977. Algunas observaciones en la reproducción de la hembra silvestre de *Octodon degus*, Molina y su posible relación con la fenología de la vegetación. *Medio Ambiente.* **3**: 78-82.

Schall J. y Houle P., 1992. Malarial parasitism and home range and social status of male western fence lizard, *Sceloporus occidentalis*. *J Herpetol.* **26**: 74-76.

Sikes R., Bryan J., Byman D., Danielson B., Eggleston J., Gannon M., Gannon W., Hale D., Jesmer B., Odell D., Olson L., Stevens R., Thompson T., Timm R., Trehwitt S. y Willoughby J. 2016. 2016 Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. *J Mammal.* **97**: 663-688.

Sudarmaji, Singleton G., Herawati N., Djatiharti A. y Rahmini. 2003. Farmer's perceptions and practices in rat management in West Java, Indonesia. En Grant R. Singleton, Lyn A. Hinds, Charles J. Krebs y Dave M. Spratt, *Rats, mice and people: rodent biology and management.* Pp 389-394. Australian Centre for International Agricultural Research Monograph, Canberra, Australia.

Tucunduva de Faria M., Athanzio D., Goncalves E., Silva E., Reis M. y Ko A. 2007. Morphological alterations in the kidney of rats with natural and experimental *Leptospira* infection. J Comp Pathol. **137**: 231-8.

Veloso, C., Vásquez, R. y Ebensperger, L. 2004. Antecedentes sobre biología reproductiva de los roedores silvestres chilenos. En: Iriarte, A., Tala, S., González, B., Zapata, B., González, G., & Maino, M., eds. Cría en cautividad de fauna chilena. Pp. 375-383. Servicio Agrícola y Ganadero; Parque Metropolitano, Zoológico Nacional; Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Vyas A., Kim S., Giacomini N., Boothroyd J. y Sapolsky R. 2007. Behavioral changes induced by *Toxoplasma* infection of rodents are highly specific to aversion of cat odors. Proc Natl Acad Sci. EEUU. **104**: 6442-6447.

Wolff J. 1985. The effects of density, food, and interspecific interference on home range size in *Peromyscus leucopus* and *Peromyscus maniculatus*. Can J Zool. **63**: 2657-2662.

Yahner R. 1978. Burrow system and home range use by eastern Chipmunk, *Tamias striatus*: ecological and behavioral considerations. J Mammal. **59**: 324-329.

Zamora J. y Riedemann S. 1999. Animales silvestres como reservorios de leptospirosis en Chile. Una revisión de los estudios efectuados en el país. Arch Med Vet. **31**: 1-13.

Ziporyn T. y Himsworth C. 1991. Passing as an indicator of social dominance among female wild and domestic Norway rats. Behavior. **118**: 26-41.

ANEXO

De manera complementaria a este seminario de título, y como una forma de contrastar la estimación en las áreas utilizadas mediante datos obtenidos por CMR, se realizó la estimación de uso del espacio mediante el método de Radiotelemetría (RT). Esta evaluación se enfocó en ejemplares del género *Rattus* y se realizó en uno de los sitios previamente estudiados durante el año 2016.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

La RT se desarrolló durante el verano, otoño y primavera de 2016 en uno de los sectores estudiados por CMR (Collipeumo, Paine, Región Metropolitana, 33°49'60''S y 70°46'60''O), donde el género *Rattus* predominó en la comunidad (Abundancia relativa de 98,2%).

Captura de roedores y obtención de muestras biológicas

Según la temporada, se capturaron y seleccionaron entre 7 a 15 individuos del género *Rattus* (*R. rattus* y *R. norvegicus*) con un peso superior a 150 g. De esta manera se aseguró que los individuos no se vieran afectados significativamente por el uso del collar, el cual debe poseer un peso inferior al 5% del peso vivo. A estos animales se les colocó un radiocollar consistente de un collar de bronce y un transmisor de radio

recubierto de acrílico. La toma de medidas y muestras biológicas se realizó de la misma forma explicada en la sección Materiales y Métodos del presente seminario de título, pero ocupándose como única prueba diagnóstica la PCR de muestras de orina. Todos los animales seguidos por RT fueron negativos en esta prueba.

Obtención de datos de localización, distancia recorrida y mínimo polígono convexo.

Los roedores fueron liberados el mismo día en el mismo punto de captura, para luego realizar un seguimiento de ellos utilizando receptores de señal de radio y antenas Yagi de cinco elementos. Se buscó el punto de mayor intensidad de señal posicionándose en sectores georreferenciados previamente, para luego, utilizando una brújula, estimar el ángulo existente entre el roedor y el punto de medición. Fueron necesarias dos personas realizando este procedimiento simultáneamente para poder efectuar una triangulación correcta de la posición del animal. Este proceso se llevó a cabo cada 4 horas durante 4 días/noches para las mediciones realizadas en verano y otoño, y cada 3 horas durante 3 días/noches para primavera. Se consideraron válidos aquellos puntos donde las mediciones fueran realizadas dentro de un intervalo de tiempo de 10 minutos y que tuvieran una diferencia entre sus ángulos de al menos 20° (Salazar, 2015). La determinación de la posición de cada animal estudiado (triangulación) se realizó utilizando el Software LOAS (versión 4.0.3.8, Ecological Software Solutions). El área de movimiento utilizada se obtuvo a través del cálculo del mínimo polígono convexo. Además, se realizó una estimación de la distancia recorrida por cada animal, para obtener un dato más dinámico del uso del espacio. El cálculo consistió en medir la

distancia lineal desde el punto inicial de desplazamiento registrado para un individuo hasta el siguiente punto cronológicamente registrado, repitiendo este proceso hasta el último punto. Esto se realizó utilizando el software QGIS (herramienta “Point2One”).

Análisis de los datos

Se realizaron análisis para comparar las áreas estimadas y las distancias recorridas según sexo, jornada (diurna -07:00 a 20:59 hrs.- y nocturna -21:00 a 6:59 hrs.-) y temporada (verano/otoño/primavera). Además, se realizó una comparación según el área estimada por RT con el área estimada por CMR (datos presentados en el cuerpo principal). Las pruebas estadísticas realizadas se corresponden con aquellas descritas previamente en el cuerpo principal del presente seminario de título.

RESULTADOS

De los 32 roedores del género *Rattus* rastreados, 27 presentaron posiciones efectivas (11 en verano, 9 en otoño y 7 en primavera; ver Tabla 1 del presente Anexo). El área promedio obtenida por este método fue de 1,234 ($\pm 0,912$) ha, un resultado considerablemente superior al obtenido para *Rattus* a través de CMR (área promedio = $0,0350 \pm 0,0354$ ha) (Kruskal-Wallis, $H= 40,5$; $P = 1,9 \times 10^{-10}$)

Tabla 1. Resumen de roedores seguidos por Radioteleetría especificando el promedio (\pm DE) de utilización del espacio y distancia según especie, sexo y temporada. H = Hembras, M = Machos, - = Sin registros

Especie	Sexo	Área (ha)			Distancia (m)		
		Verano	Otoño	Primavera	Verano	Otoño	Primavera
<i>R. rattus</i>	H	1,45 \pm 0,91	1,20 \pm 0,98	-	935 \pm 389	701 \pm 254	-
	M	0,83 \pm 0,96	0,84 \pm 0,74	2,06 \pm 1,29	609 \pm 388	529 \pm 193	1025 \pm 508
<i>R. norvegicus</i>	H	-	1,10 \pm 0,28	1,47 \pm 0,035	-	715 \pm 126	944 \pm 59
	M	-	-	0,381 \pm 0	-	-	322 \pm 0

No se detectaron diferencias significativas en el área de uso del espacio diurno y nocturno ($F = 1$; g.l. = 20; $P = 0,329$), entre temporadas ($F = 0,576$; g.l. = 24; $P = 0,569$), ni tampoco entre sexos ($t = -1,713$, $P = 0,102$). En cuanto a la distancia recorrida, tampoco se obtuvieron diferencias significativas entre sexos (Kruskal-Wallis, $H = 3,81$ $P = 0,0509$), entre desplazamiento diurno y nocturno ($F = 0,911$; g.l. = 20; $P = 0,314$), ni entre temporadas ($F = 0,971$; g.l. = 24; $P = 0,393$).

DISCUSIÓN

Las áreas obtenidas por el método de RT fluctuaron entre 0,237 y 3,209 ha, siendo este rango significativamente superior al obtenido por CMR (entre 0,0077 y 0,221 ha). Este resultado concuerda con múltiples trabajos que reportan que los datos obtenidos por RT son consistentemente superiores a aquellos obtenidos mediante metodologías de trampeo y recaptura (Bergstrom, 1988; Frank y Heske, 1992; Ribble y col., 2002). Sin embargo, el método de RT no está exento de limitaciones, tanto técnicas como

prácticas. El tamaño del transmisor, la duración de la señal y la distancia de ésta, pueden influir en su efectividad, como además las limitaciones asociadas a la capacidad del investigador de realizar un monitoreo de un gran número de animales principalmente debido a limitaciones monetarias y de tiempo (McShea y Madison, 2012).

Las faltas de diferencias entre las diversas comparaciones realizadas podrían deberse a que en el sitio donde se realizó el seguimiento por RT existió una alta abundancia de múridos presentando una abundancia relativa de un 89,6% ($n = 63$, densidad relativa = 9,8 múridos/ha) en comparación a los demás sitios donde la abundancia relativa de la familia fluctuó entre 0 a 71,9%. Por lo tanto, es posible hipotetizar que los machos no tendrían que desplazarse demasiado para encontrar hembras. Otra posible explicación es que la oferta ambiental de alimento dentro del predio agrícola se distribuye de una forma homogénea y compacta, por lo que las hembras no se encontrarían dispersas por el sector durante sus forrajeos y los machos podrían acceder más fácilmente a ellas. Se puede examinar gráficamente esta falta de diferencias en el área utilizada entre sexos en las Figuras 1 y 2 del presente anexo, donde se observan las áreas estimadas por CMR y RT en el mismo sector.



Figura 1. Mínimos polígonos convexos estimados en individuos seguidos mediante el método de captura-marcado-recaptura en el sector Champa. Polígonos de animales hembras en rojo y de machos en azul.



Figura 2. Mínimos polígonos convexos estimados en animales seguidos mediante el método de radioteleetría. Polígonos de animales hembras en rojo y de machos en azul.

Por último, no se detectaron diferencias entre el uso del espacio diurno y nocturno en los individuos seguidos por RT. Se esperaba encontrar un área de uso mayor durante las noches debido al hábito predominantemente nocturno de estos roedores (Iriarte, 2008). La existencia de múltiples depredadores nocturnos tales como lechuzas, perros y gatos, podrían resultar en un limitante del desplazamiento para estos roedores, restringiendo la exploración de los muros durante sus forrajeos.

Una forma de poder mejorar los resultados, sería el realizar un seguimiento de una mayor cantidad de roedores como también, de contar con una mayor cantidad de sitios de estudio. Por otro lado, de realizarse las mediciones de cada individuo en intervalos de tiempo menores, sería posible estimar el movimiento fino del animal en el espacio.

CONCLUSIONES

El método de captura-marcado-recaptura subestima las áreas de movimiento de los roedores prospectados al comparar con los datos obtenidos por radiotelemetría.

No se obtuvieron diferencias significativas en las comparaciones realizadas, lo que podría deberse a razones específicas asociadas al sitio prospectado, por lo que realizar este método de seguimiento en roedores de otros sitios sería una manera de mejorar los resultados obtenidos.

Este estudio entrega información útil para complementar el conocimiento de la historia de vida de los roedores del género *Rattus* en Chile central.

BIBLIOGRAFÍA

- Bergstrom B. 1988. Home ranges of three species of chipmunks (*Tamias*) as assessed by radiotelemetry and grid trapping. *J Mammal*. **69**: 190-193.
- Frank D. y Heske E. 1992. Seasonal changes in space use patterns in the southern grasshopper mouse *Onychomys torridus torridus*. *J Mammal* **73**: 292–298.
- Iriarte A. 2008. Mamíferos de Chile. pp 105-355. Lynx Edicions. Barcelona, España.
- McShea W. y Madison D. 2012. Alternative approaches to the study of small mammal dispersal: insights from radiotelemetry. En Stenseth N. y Lidicker W. *Animal dispersal: Small mammals as a model*. pp 319-332. Springer Science & Business Media, Holanda.
- Ribble D., Wurtz A., McConnell E., Buegge J. y Welch K. 2002. A comparison of home ranges of two species of *Peromyscus* using trapping and radiotelemetry data. *J Mammal*. **83**: 260-266.
- Salazar D. 2015. Patrones de movimiento del monito del monte (*Dromiciops gliroides*) en hábitats nativos y transformados: consecuencias para la distensión de semillas. Seminario de Título, Facultad de Ciencias. Universidad de Chile.