

**Variación morfológica y del canto en poblaciones de
Zonotrichia capensis (Aves: Emberizidae) de ambientes
urbanos y silvestres en Chile Central**

Tesis
Entregada a La
Universidad De Chile
En Cumplimiento Parcial De Los Requisitos
Para Optar Al Grado De

Magíster en Ciencias Biológicas

Facultad De Ciencias

Por
Juan David Arévalo Camargo
Septiembre, 2019

Director de Tesis: PhD. Rodrigo A. Vásquez Salfate

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE
INFORME DE APROBACION
TESIS DE MAGÍSTER

Se informa a la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias que la Tesis de Doctorado presentada por el candidato.

Juan David Arévalo Camargo

Ha sido aprobada por la comisión de Evaluación de la tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias Biológicas, en el examen de Defensa Privada de Tesis rendido el día.....

Director de Tesis:

Dr. Rodrigo A. Vásquez Salfate

.....

Comisión de Evaluación de la Tesis

Dr. Michel Pedro Sallaberry, Universidad de Chile

.....

Dr. Nelson Velásquez, Universidad Católica del Maule,

.....

“...We are all time travelers, journeying together into the future, but let us work together to make that future a place we want to live...”

Gracias a Juanita y a Tita por su apoyo incondicional.



Juan David Arévalo Camargo, Biólogo Colombiano titulado en el año 2015 de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), con una especialización en gestión ambiental, se encamino en el estudio de la ecología, la zoología y la conservación. En el año 2017 ingresó al Programa de Magister en Ciencias Biológicas de la Universidad de Chile, haciendo parte del Laboratorio de Ecología Evolutiva del Comportamiento, a cargo del Dr. Rodrigo Vásquez, con el fin de trabajar la ecología de aves de Chile.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Dr. Rodrigo Vázquez, por recibirme y darme la oportunidad de trabajar en su laboratorio, ser guía de aprendizaje y crecimiento académico en este proceso enriquecedor para mi desarrollo personal. A los profesores de la comisión Dr. Michel Pedro Sallaberry y al Dr. Nelson Velásquez por sus consejos, asistencia, paciencia e interés con todo lo realizado.

Agradezco a todos mis compañeros del laboratorio: Pablo Lamilla, Jorge Mella, Camila Bravo, Diana Polania, Lucas Hussing, Sebastián Maya, Karina Romero, Javier Bustos, Yanina Ibaceta, Barbara Bachmann, Bárbara Toro, Gabriel Gálvez y en especial a mis asesores y equipo de trabajo en terreno: Carlos Valeris, Juan Rivero, Pablo Cornejo, Daniel Benítez y por su ayuda desde el primer día en este proceso y todas las buenas experiencias compartidas.

A mi madre Libia Patricia (Tita) y mi hermana Juanita del Mar (Manis) por todo su amor, apoyo, comprensión e inspiración en este proceso desde la distancia de nuestros caminos. A mi padre Miguel por darme la oportunidad de buscar mi camino. A mi prima Carolina por recibirme, abrirme las puertas de su casa y hacer más amena mi estadía y a mi familia en general por toda su mejor energía.

A mis amigos de la vida Daniel, Fabián, Diego (el Negro), Laura Andrea, Carlitos, Alex, a los del colegio: Salom, Busta y Genio, y a los de la universidad: Katherine, Nohora, Geraldine, Dayana, Lina, Alba Luz, Dani por su apoyo y amistad en la distancia.

Al Laboratorio de Ecología Evolutiva del Comportamiento a cargo del Dr. Rodrigo Vásquez por el préstamo de los equipos, el procesamiento de muestras y datos para la realización de esta tesis, bajo el proyecto CONICYT-PIA-CCTE AFB170008 que son parte de los estudios del Instituto de Ecología y Biodiversidad.

ÍNDICE DE MATERIALES

LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
Variación morfológica	3
El canto	4
HIPÓTESIS	7
Predicciones	7
OBJETIVOS	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos	8
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Área de estudio	9
Métodos	11
Medición de rasgos morfológicos	12
Índice de vegetación	13
Grabación de cantos.....	14
Análisis de Canto	15
Análisis de datos	16
RESULTADOS	19
Morfología	19
Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI)	26
Cantos	29
Ruido ambiente	33

DISCUSIÓN	34
Morfología	34
Canto.....	40
CONCLUSIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Medias y desviaciones estándar (D.E.) de las variables morfológicas de <i>Z. capensis</i> en ambientes urbanos y silvestres en temporada reproductiva.	20
Tabla 2. Manova para las variables morfométricas evaluando el efecto de los dos ambientes (urbano y silvestre) y el sexo <i>Z. capensis</i>	21
Tabla 3. Anova por cada variable morfométricas evaluando el efecto de los dos ambientes (urbano y silvestre) y el sexo en <i>Z. capensis</i>	22
Tabla 4. Anova de permutaciones para la variable masa corporal evaluando el efecto de los ambientes y el sexo de los individuos... ..	23
Tabla 5. Regresión lineal entre masa corporal y longitud del tarso en individuos machos de <i>Z. capensis</i> respecto al ambiente.	24
Tabla 6. Índice de condición corporal con los residuales de la relación entre la masa corporal respecto a la longitud del tarso evaluado en cada ambiente en los machos de <i>Z. capensis</i>	25
Tabla 7. Valores medios, máximos y mínimos por pixel según los lineamientos del índice NDVI en los hábitats de muestreo para los meses de marzo, agosto y diciembre.....	26
Tabla 8. Medias y desviaciones estándar (D.E.) de las variables de canto de <i>Z. capensis</i> dentro de ambientes urbanos y silvestres dentro de una temporada reproductiva.	30
Tabla 9. Anova de permutaciones para las frecuencias mínimas del tema y el trino en el canto de <i>Z. capensis</i>	31

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de la ciudad de Santiago y localidades cercanas (en color gris oscuro se encuentra delimitada el área urbana de la Ciudad de Santiago). Se señalan los puntos de muestreo: 1. Quebrada la Plata. 2. Altos de Chicauma. 3. Campus Juan Gómez Millas de la Universidad de Chile y el Campus Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. 4. Parque Quinta Normal..... **10**
- Figura 2.** Sitios de muestreo. A. Campus Juan Gómez Millas de la Universidad de Chile, B. Campus Macul de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, C. Parque Quinta Normal D. Altos de Chicauma, E. Quebrada de La Plata. **11**
- Figura 3.** Espectrograma del canto de *Z. capensis* mostrando las variables medidas. Frecuencia máxima del tema, frecuencia mínima del tema, frecuencia máxima del trino, frecuencia mínima del trino, rango de frecuencia en el tema, rango de frecuencia en el trino, duración del tema, duración del trino y duración del canto (obtenido de García *et al.*, 2015). **16**
- Figura 4.** PCA de las 8 variables morfométricas. Se observa que se agrupan en dos grupos donde las variables en el eje X poseen mayor poder explicativo (Longitud de la cabeza (LCA), Longitud del Culmen expuesto (LCT), Ancho del pico (ANP), Alto del pico (AP), Longitud del tarso (LT)). **21**
- Figura 5.** Variación del índice condición corporal entre los residuales de la masa corporal y la longitud del tarso entre individuos machos de ambientes urbanos y silvestres..... **25**
- Figura 6.** Mapa de los ambientes de muestreo (Altos de Chicauma, Quebrada de la Plata, UMCE y Universidad de Chile Campus Juan Gómez Milla en Santiago) Para los meses de marzo, agosto y diciembre de 2018, en donde se presentan las épocas de otoño, invierno y transición entre primavera y verano respectivamente **28**
- Figura 7.** Variación de la A) Productividad primaria y B) Fragmentación para los meses de marzo, agosto y diciembre en función de cada ambiente. **29**
- Figura 8.** Diagrama de cajas que compara los ambientes urbano y silvestre para la frecuencia mínima del tema con un $p < 0.001$. La línea negra de las cajas indica el valor de la mediana, dentro de la caja se encuentran el 50% de los valores y los extremos de las barras muestran los valores mínimos y máximos.. **31**

Figura 9. Espectrograma con cantos de *Z. capensis* en (1) Área Urbana, (2) Altos de Chicauma y (3) Quebrada la Plata. Se observa el ruido ambiente en la parte inferior del espectrograma en color rojo, en el área urbana es evidente una mayor incidencia de esta alteración con frecuencia por encima de 2 kHz.32

Figura 10. Relación del ruido ambiental máximo y las frecuencias mínimas de canto respecto a los ambientes. ▲ Urbano ● Silvestre.33

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Regresión lineal múltiple para individuos de sexo masculino con las variables morfológicas seleccionadas respecto a la masa corporal.....	54
Anexo 2. Regresión lineal entre masa corporal-Cabeza en individuos masculinos de <i>Z. capensis</i> respecto al ambiente.....	54
Anexo 3. Manova de las variables morfológicas para las interacciones entre ambiente, sexo y temperatura.	55
Anexo 4. Manova de las variables morfológicas para las interacciones entre ambiente y sexo..	55
Anexo 5. Mapa general de la Región Metropolitana de Santiago incluyendo cada uno de los puntos de muestreo. Se visualiza en escala de rojo las zonas de vegetación nula, cuerpos de agua y estructuras de concreto o pavimento o suelos descubiertos y de amarillo a verde las zonas que poseen algún tipo de vegetación desde pastizales hasta zonas de cultivo según el índice de vegetación diferencial normalizado para los meses de Marzo, Agosto y Diciembre del 2018, equivalentemente en estos meses se presentan las épocas de otoño, invierno y transición entre primavera y verano respectivamente.....	55
Anexo 6. Anova de permutaciones para las variables de canto de <i>Z. capensis</i>	56
Anexo 7. Manova de permutaciones de las variables de canto para las interacciones entre ambiente, hora y temperatura.	57
Anexo 8. Manova de permutaciones de las variables de canto para las interacciones entre ambiente y temperatura....	58
Anexo 9. Manova de permutaciones de las variables de canto para las interacciones entre ambiente y hora.	58
Anexo 10. Manova de permutaciones de las variables de canto para los efectos de ambiente y hora.	58

RESUMEN

Los ambientes urbanos poseen características particulares en comparación con los hábitats silvestres que limitan la sobrevivencia de ciertas especies. Sin embargo, algunas aves han logrado persistir dentro de los ambientes urbanos, evidenciando diferencias morfológicas y de comportamiento respecto a las poblaciones de ambientes silvestres. Este es el caso de *Zonotrichia capensis*, un especie con amplio rango de distribución en el neotrópico que habita con éxito los ambientes urbanos y silvestres. Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar las variaciones morfológicas y del canto entre poblaciones de *Z. capensis* que habitan ambientes urbanos y silvestres de la Región Metropolitana de Santiago (Chile), asociadas a la disponibilidad de alimento y el ruido ambiental. Se capturaron y midieron 98 individuos y se grabaron 45 cantos durante una temporada reproductiva en los dos ambientes. Se evaluó la disponibilidad de alimento a través de la productividad primaria (índice NVDI) y el nivel de ruido ambiental por medio de la cantidad promedio de decibeles en cada ambiente. Los resultados muestran que los individuos que habitan el ambiente urbano presentan menor tamaño, masa e índice de condición corporal con relación a sus conespecíficos de ambientes silvestres, lo cual estaría relacionado con las diferencias entre la productividad primaria y el grado de fragmentación en ambos ambientes. La estructura del canto evidenció un aumento en las frecuencias mínimas en la población urbana, producida por el incremento en los

niveles de ruido ambiental. Los resultados permiten concluir que la continua disponibilidad de alimento, una mayor fragmentación y mayores niveles de ruido ambiental explicarían las diferencias morfológicas y de canto encontradas en la población urbana de *Z. capensis* con relación a poblaciones de ambientes silvestres en Chile central.

Palabras claves: Morfología, disponibilidad de alimento, canto, ruido ambiente, ambientes urbanos.

TITLE

Morphological and song variation in populations of *Zonotrichia capensis* (Birds: Emberizidae) from urban and wild environments in Central Chile.

ABSTRACT

Urban environments have particular characteristics compared to wild habitats that limit the survival of certain species. However, some bird species have managed to persist within urban environments, showing morphological and behavioral differences regarding to wild populations. This is *Zonotrichia capensis* case, a species with a wide range of distribution in the Neotropics that successfully inhabits urban and wild environments. This study was carried out with the purpose of evaluating the morphological and song variations between *Z. capensis* populations that inhabit urban and wild environments of the Metropolitan Region of Santiago (Chile), associated with food availability and environmental noise. Ninety eight (98) individuals were captured and measured and 45 songs were recorded during a breeding season in both environments. Food availability was evaluated through primary productivity (NVDI index) and the environmental noise level was measure with the decibels average in each environment. The results show that the individuals who inhabit the urban environment have a smaller size, body mass and body condition index in relation to their species from wild environments, related to the differences between primary productivity and the degree of fragmentation in both environments. The song structure shows an increase in the minimum frequencies in the urban population, produced by the increase in

environmental noise levels. The results allow us to conclude that the continuous food availability, higher fragmentation and higher levels in environmental noise would explain the morphological and singing differences found in the urban population of *Z. capensis* in relation to wild populations in central Chile.

Keywords words: Morphology, food availability, singing, ambient noise, urban environments.

INTRODUCCIÓN

Los cambios morfológicos y de comportamiento que presentan algunas especies de aves que habitan ambientes urbanos pueden estar relacionados de forma directa con factores propios del entorno, tales como el incremento de la temperatura ambiental, la mayor contaminación química y acústica, la iluminación intensiva y continua, una menor cobertura de vegetación, entre otras (Mendes, Colino y Peris. 2011; Meillère *et al.*, 2015). A largo plazo, estas perturbaciones producen variación en la disponibilidad de alimento y refugio, así como en el estado físico de los individuos, llevándolos a manifestar respuestas fisiológicas y de comportamiento distintas a las que pueden presentar en hábitats silvestres durante el transcurso de su ciclo de vida (Wingfield, Kelley y Angelier, 2011).

Para las especies de aves que utilizan el canto como medio de comunicación en comportamientos como la atracción de su pareja y defensa territorial, los altos niveles de ruido ambiental de las ciudades suponen un gran desafío, debido a la interferencia acústica que ocasionan (Slabbekoorn, 2013). En este sentido, se ha documentado que algunas especies de aves ajustan su vocalización en ambientes acústicos adversos como estrategia para contrarrestar el ruido externo (Slabbekoorn y Smith, 2002; Mendes *et al.*, 2011; Slabbekoorn, 2013). Además, se ha observado que el tamaño corporal influye en el comportamiento vocal y que si el tamaño del ave es más grande poseerá una siringe

de mayor tamaño y producirán cantos de frecuencias más bajas (Marler y Slabbekoorn, 2004).

Por otra parte, en ambientes urbanos existe un fenómeno de amortiguación debido a la disponibilidad de alimento, agua y refugio que contribuyen al establecimiento de ciertas especies a este hábitat (Shochat *et al.*, 2006). Es así como se ha relacionado que la riqueza de la avifauna urbana está asociada a la composición de vegetación arbórea y la cantidad de follaje en estas zonas (Díaz y Armesto, 2003). Además, la alimentación de animales de forma directa (*e.g.* comederos para aves) o indirecta (*e.g.* residuos o frutas y semillas de vegetación exótica) contribuyen a una mayor estabilidad en la disponibilidad de los recursos (Shochat *et al.*, 2006; Gil, 2014). Debido a esto, la condición corporal y la masa corporal de los individuos que habitan en áreas urbanas se mantiene estable durante períodos largos, ya que estas aves pueden obtener la energía diaria para sobrevivir (Shochat, 2004).

Para las especies de aves que habitan ambientes urbanos, estas presiones ambientales pueden afectar la masa corporal, la morfología y el canto con respecto a sus conespecíficos que habitan en ambientes silvestres (Evans *et al.*, 2009; Meillère *et al.*, 2015; Liker *et al.*, 2018). Este pudiera ser el caso de *Zonotrichia capensis* (Müller, 1776), un especie de ave perteneciente a la familia Emberizidae que se encuentra distribuida geográficamente desde el sur de México (10° N) hasta Cabo de Hornos en la Patagonia (55° S) (Chapman, 1940). Esta ave ocupa un amplio rango altitudinal encontrándose desde el nivel del mar hasta los 4.700 metros s.n.m., reproduciéndose en distintos tipos de hábitats, ya sea en espacios abiertos, en claros y límites de zonas

boscosas y a lo largo de arroyos, caminos, litorales con vegetación xerofítica, sabanas y áreas urbanas (Nottebohm, 1969 y 1975; Loughheed *et al.*, 2013), Conociéndose como una especie oportunista que se alimenta principalmente de semillas e insectos (López, 1995).

Variación morfológica

A nivel morfológico se ha observado que las aves pueden diferir en tamaño y masa corporal a lo largo del gradiente de urbanización como ocurre en *Turdus melura* (Evans *et al.*, 2009). También se ha observado para otras especies de aves (como el gorrión común) que existe una menor longitud del tarso en los sitios urbanos, lo que puede indicar una producción de descendientes con condiciones menos favorables en las ciudades (Liker, Papp, Bokony y Lendvai, 2008). Asimismo, se ha sugerido que los individuos tienen un tamaño corporal menor cuando viven en un entorno predecible, donde no se presenta escasez de alimentos, como ocurriría en los ambientes urbanos (Meillère *et al.*, 2015).

La variación morfológica de *Z. capensis* entre áreas urbanas y rurales ha sido poco estudiada. En la zona norte y central de Chile, Ruiz *et al.*, (2002) señala que los chincoles que habitan en zonas urbanas poseen una masa corporal y niveles de linfocitos más bajos que sus conespecíficos de zonas silvestres y sugieren que esto se relaciona con la vida en entornos más estresantes. También proponen que una masa corporal menor en aves urbanas se puede generar por la considerable demanda de energía atribuida al tipo de hábitat. Por otro lado, Poblete *et al.* (2018) realizaron un estudio de

comparación morfológica de dos poblaciones de *Z. capensis* en un gradiente altitudinal en Chile central y concluyeron que las medidas corporales fueron significativamente mayores en la población que habita los sitios de mayor altitud, y discuten que esta variación estaría relacionada a diferencias entre las subespecies descritas para Chile central, siendo la subespecie *Z. capensis sanborni* referida para las zonas de altitudes sobre los 2500 m s.n.m. y la subespecie *Z. capensis chilensis* para las zonas bajo los 2200 m s.n.m. (subespecies descritas por Chapman, 1940).

El canto

Al igual que otros passeriformes, el canto territorial de *Z. capensis* contiene dos partes, una sección introductoria denominada “tema” y una final conocida como “trino” (Nottebohm, 1975). El tema está compuesto por entre dos y cinco silbidos ascendentes o descendentes y cada macho puede cantar un tema distintivo. Por otro lado, el trino tiene un patrón principal que puede variar entre poblaciones y el intervalo de este es relativamente constante dentro de una población (Nottebohm, 1969 y 1975; King, 1972; Tubaro *et al.*, 1993).

Según Nottebohm (1969, 1975), la variación del canto que presenta *Z. capensis* está definida como dialecto, refiriéndose a las diferencias de vocalización entre poblaciones vecinas o entre poblaciones con cantos distintos que se solapan entre territorios. También se pueden presentar áreas donde exista una alta variabilidad de cantos, donde algunos individuos de la misma población muestran vocalizaciones distintas, lo que sugiere que estuvieron en contacto con ambos dialectos durante su proceso de

aprendizaje (Avelino y Vielliard, 2004). Por su parte, Loughheed y Handford (1992) sugiere que los dialectos actúan como indicadores de comportamiento y contribuyen a restringir el flujo de genes entre diferentes poblaciones con individuos que adaptan sus dialectos a condiciones ambientales distintivas.

Además del dialecto, el canto puede estar caracterizado por las frecuencias y la duración en el tema, el trino y el canto completo. Para *Z. capensis*, Nottebohm (1975) propone que el tamaño corporal puede influir en la frecuencia del canto. Handford y Loughheed (1991) también reportaron que aves de mayor tamaño tienden a poseer cantos de menor frecuencia y podría estar influenciado por otros factores asociados con el tipo de hábitat específico donde residen. También ha sido sugerido que individuos de *Z. capensis* puede emitir cantos más agudos en los hábitats urbanos con relación a los silvestres y que las sílabas del canto que cambian en mayor medida son aquellas con el tono más bajo (Laiolo, 2011a). Esto puede estar favorecido por un alto grado de plasticidad en la generación de los cantos, como se ha observado en varias especies de passeriformes, las cuales han llegado a cambiar las frecuencias (Slabbekoorn y Peet, 2003) y la duración del canto (Díaz *et al.*, 2011) como respuesta al impacto del ruido urbano (Laiolo, 2011a).

El aumento involuntario de la amplitud de llamada en respuesta al enmascaramiento del ruido ambiental es un fenómeno que puede ocurrir en aves y mamíferos (incluyendo a los seres humanos), este se denomina efecto Lombard (Brumm y Zollinger, 2011). Este efecto se asocia con cambios vocales, como la frecuencia y duración de las llamadas (Nemeth *et al.*, 2013). Para las aves que se encuentran en hábitats urbanos se pueden

presentar un aumento en la amplitud o en las frecuencias de vocalización del canto, promovido por posibles adaptaciones al ruido, en respuesta al enmascaramiento de sonido de baja frecuencia (Brumm y Zollinger, 2011; Slabbekoorn y Peet, 2003).

Dado que ciertas poblaciones pueden diferir debido a las condiciones específicas de cada hábitat, estas pueden presentar ajustes en características como el tamaño del cuerpo o de la masa corporal (Liker *et al.*, 2018) o variaciones en las vocalizaciones del canto (Slabbekoorn y Peet, 2003). Sin embargo, existe poca información disponible sobre estas posibles respuestas en relación al hábitat debido al contraste que pueden presentar los ambientes urbanos y silvestres, producto de la disponibilidad de recursos, la fragmentación del hábitat y el ruido ambiental, lo que nos lleva a plantear la siguiente pregunta: ¿Cómo varían las características morfológicas y de canto entre las poblaciones de *Z. capensis* que habitan en ambientes urbanos con respecto a sus conespecíficos de ambientes silvestres?

HIPÓTESIS

1. Entre poblaciones de *Zonotrichia capensis* que ocupan ambientes urbanos y silvestres existen diferencias en el tamaño y la masa corporal de los individuos, debido a la variación en la disponibilidad de alimento entre estos hábitats, la cual es más constante en ambientes urbanos, por lo que los individuos que residen en este ambiente tendrán un tamaño y masa corporal menor.
2. Los individuos de *Zonotrichia capensis* que habitan el ambiente urbano tienen cantos con mayores frecuencias con relación a los individuos que habitan ambientes silvestres, debido a la incidencia del ruido ambiental presente en los ambientes urbanos.

Predicciones

1. Los individuos de *Z. capensis* que habitan los ambientes urbanos presentarán un tamaño corporal y una masa corporal menor que aquellos que viven en ambientes silvestres.
2. Las frecuencias mínimas del tema y el trino serán mayores en individuos que habitan ambientes urbanos, en este caso, en la ciudad de Santiago, en relación a sus conoespecíficos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar las características morfológicas y del canto entre poblaciones de *Z. capensis* que habitan ambientes urbanos y silvestres de la Región Metropolitana de Santiago, Chile, asociadas al efecto de la disponibilidad de alimento y el ruido ambiental.

Objetivos específicos

- Analizar la variación morfométrica y de la masa corporal entre ejemplares de *Z. capensis* que ocupan ambientes urbanos y silvestres.
- Evaluar la variación del índice de condición corporal de *Z. capensis* entre ambientes urbanos y silvestres con relación a la productividad primaria.
- Comparar la estructura y características del canto de individuos de *Z. capensis* con relación a los niveles de ruido ambiental en ambientes urbanos y silvestres.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio se realizó en 2 ambientes silvestres y 2 urbanos dentro de la Región Metropolitana de Santiago (Figura 1). En el área urbana se realizaron capturas en dos sitios de muestreo en la ciudad de Santiago, la primera localidad incluye el Campus Juan Gómez Millas de la Universidad de Chile y el Campus Macul de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (UMCE), aledaños el uno del otro y ubicados en la comuna de Ñuñoa ($33^{\circ}28'11''\text{S}$ $70^{\circ}35'44''\text{W}$) (Figura 2A y B), y la segunda en el Parque Quinta Normal, comuna Quinta Normal ($33^{\circ}26'35''\text{S}$ $70^{\circ}40'53''\text{W}$) (Figura 2C). En estos lugares de muestreo se observaron jardines con coberturas de vegetación ocupadas mayormente con césped, arbustos y árboles de especies exóticas y nativas que mostraron las fuertes presiones ejercidas por la urbanización y la intervención humana, aumentando la homogenización biótica, la pérdida de hábitat natural y la fragmentación de estos ambientes (Reyes-Paecke y Meza, 2011).

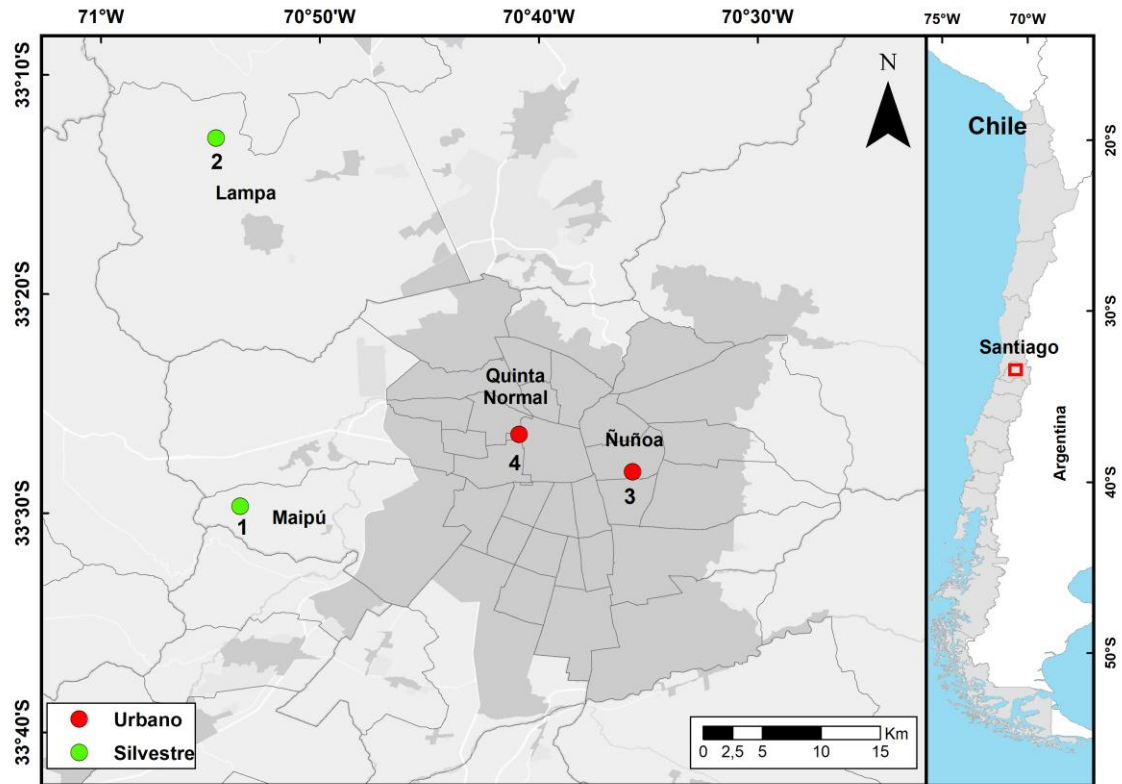


Figura 1. Mapa de la ciudad de Santiago y localidades cercanas (en color gris oscuro se encuentra delimitada el área urbana de la Ciudad de Santiago). Se señalan los puntos de muestreo: 1. Quebrada la Plata. 2. Altos de Chicauma. 3. Campus Juan Gómez Millas de la Universidad de Chile y el Campus Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. 4. Parque Quinta Normal.

Dentro del área silvestre se realizaron muestreos en dos zonas. La primera fue el santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata ($33^{\circ}29'42''\text{S}$, $70^{\circ}53'39''\text{W}$), ubicada a 8 km al suroeste de la ciudad de Santiago en la comuna Maipú. Este lugar posee un clima de tipo mediterráneo semiárido con temperatura media anual de 13.9°C , temperaturas mínimas de 7°C y máximas de 23°C (Di Castri, 1975) y está conformado por bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Prosopis chilensis*, y matorral espinoso mediterráneo interior de *Trevoa quinquenervia* y *Colliguaja odorifera* (Figura 2E) (Luebert, y Plischoff. 2006). La otra localidad corresponde a Altos de Chicauma

(33°12'47"S, 70°55'44"W), situada a 37 km al noreste de Santiago en la comuna de Lampa. Presenta una temperatura media anual de 18.2 ° C, con temperaturas máximas de hasta 38 ° C en los meses de verano y temperaturas mínimas de -4° C en los meses de invierno (Ferrado, 1999), con una formación vegetal de bosque esclerófilo interior de *Quillaja saponaria* y *Lithrea caustica* (Figura 2D). (Véase Luebert, y Pliscoff. 2006).

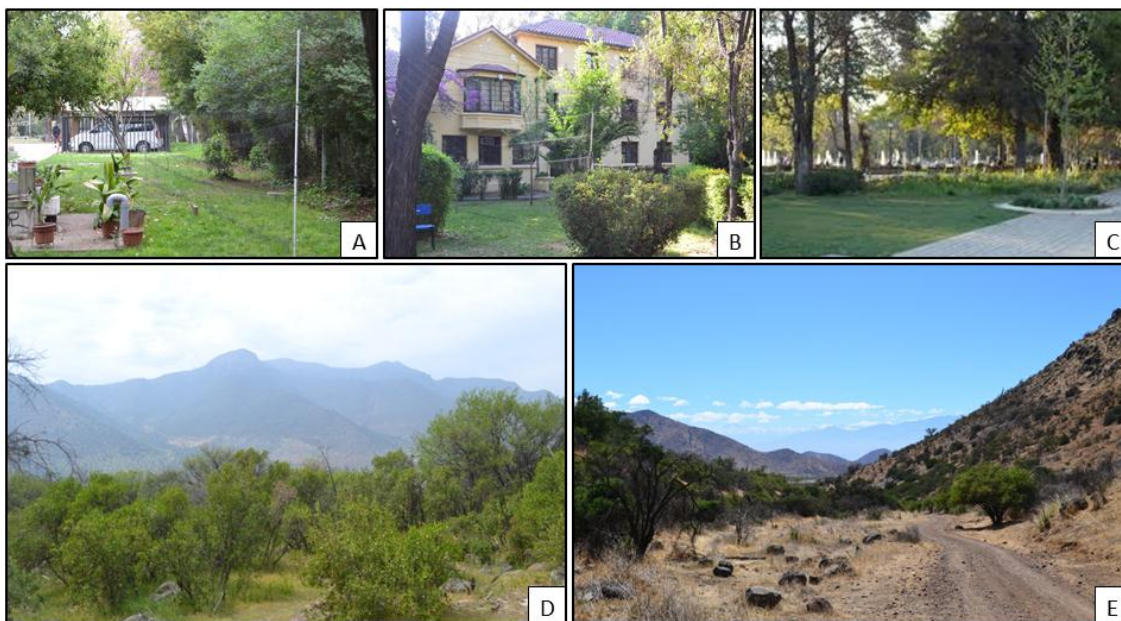


Figura 2. Sitios de muestreo. A. Campus Juan Gómez Millas de la Universidad de Chile, B. Campus Macul de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, C. Parque Quinta Normal D. Altos de Chicauma, E. Quebrada de La Plata.

Métodos

Las capturas de los individuos de *Z. capensis* se realizaron durante la temporada reproductiva entre septiembre y diciembre de 2018. Se emplearon redes de niebla de 6, 9 y 12 metros de largo de acuerdo con las características y accesibilidad de las localidades de muestreo. Sólo se incluyeron individuos en estado adulto, hembras y machos (al

menos 1 año de vida y reproductivamente maduros). Los ejemplares jóvenes e inmaduros no se consideraron para la toma de datos morfológicos. La edad se estimó mediante el criterio de clasificación de edad basado en el ciclo de muda "WRP" (por sus siglas en inglés, derivado de Wolfe-Ryder-Pyle) (véase Pyle, Engilis Jr, y Kelt, 2015). Cada uno de los ejemplares capturados fue identificado individualmente, utilizando bandas de aluminio numeradas, para evitar la toma de datos de ejemplares capturados previamente. Las capturas se realizaron de forma pasiva o simulando intrusión territorial, con ayuda de un modelo preservado de *Z. capensis* y la reproducción de cantos previamente grabados. Adicionalmente, se registraron las condiciones ambientales de temperatura (°C), porcentaje de humedad relativa y promedio de la velocidad del viento (km/h) con un anemómetro digital Windmate® 300.

Medición de rasgos morfológicos

Los rasgos morfométricos que se consideraron para analizar la variación del tamaño corporal fueron: Longitud del ala (LA), Longitud de la cola (LC), Longitud de la cabeza (LCA), Longitud del culmen expuesto (LCT), Ancho del pico (ANP), Alto del pico (AP), Longitud del tarso (LT), Longitud del hallux o primer dedo (LH) y la masa corporal (M). Todas las medidas fueron registradas en milímetros, y en gramos (en el caso de la masa corporal) siguiendo las metodologías descritas por Handford (1985) y Ralph *et al.*, (1996) y López, Stiles, y Parra (2015), utilizando una regla de tope a cero con ángulo (precisión de 0.5 mm), una regla de tope a cero (precisión de 0.5 mm), un calibrador digital Vernier (precisión 0.01mm) y una balanza digital (precisión de 0.01 gramos). (Véase López, Stiles, y Parra 2015, para observar la toma de medidas

morfológicas). Para la condición corporal se tomó el índice de grasa por reconocimiento visual de los depósitos grasos subcutáneos en la región de la fúrcula y abdomen donde el criterio fue: 0: Nulo (depresión profunda muy roja y sin presencia de grasa), 1: Bajo (algunos rastros de grasa en la fúrcula y alrededor del intestino) 2: Medio (grasa que comienza a acumularse en la fúrcula y grasa regular alrededor del intestino), 3: Alto (depósito de grasa plano en la fúrcula y el abdomen sin intestino visible), 4: Muy Alto (con grasa en la fúrcula sobre la cavidad y en toda la vista abdominal), 5: Excesivos (forma de burbuja de grasa en la fúrcula y depósitos de grasa que superan los límites del abdomen) (Kaiser, 1993; Salewski, Kéry, Herremans, Liechti, y Jenni, 2009). El sexo de los individuos capturados fue determinado a través de la observación de la protuberancia cloacal en machos y el parche de incubación en hembras, características que son evidentes solo en etapa reproductiva (Addis, Shallin-Busch, Clark, y Wingfield, 2010).

Índice de vegetación

Se utilizó el Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI) para estimar la fragmentación, disponibilidad de alimento (a través de la productividad primaria) y estructura vegetal en los ambientes urbanos y silvestres (Pettorelli *et al.*, 2011). El NDVI permite mediante imágenes satelitales, usar el cociente de la reflectancia de la banda rojo (RED) y la banda de infrarrojo cercano (NIR) de la siguiente manera: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ (Rouse *et al.*, 1973). Lo anterior es útil para evaluar la cobertura vegetal, debido al contraste o diferencia en la reflectancia que presenta la clorofila1 en ambas bandas. Este análisis se realizó por medio de las capas 4 (RED. ancho 0.636 - 0.673 μm , resolución de 30m) y 5 (NIR. ancho 0.851 - 0.879 μm ,

resolución de 30m) de fotografías satelitales tomadas por el satélite Landsat 8 OLI/TIRS, disponibles en la página <https://earthexplorer.usgs.gov/> del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés). Se emplearon las imágenes de los meses de marzo, agosto y diciembre del 2018, meses correspondientes a los periodos de otoño, invierno y transición entre primavera y verano, respectivamente. Estas capas se procesaron para obtener los mapas del NDVI con ayuda del software libre para Sistema de Información Geográfica QGIS v3.4.4. Posteriormente, se utilizó el software ImageJ® para Windows con 64 bits de resolución (*National Institutes of Health*, Bethesda, Maryland; <https://imagej.nih.gov/ij/>), para establecer los valores de cada pixel (px) de acuerdo al índice NDVI, contemplando para cada zona un área de 675 pixeles (1 px = 30 m²).

Grabación de cantos

Para cada una de las áreas se realizaron grabaciones entre los meses de septiembre a diciembre de 2018. El registro de los cantos se realizó con un micrófono (Sennheiser ME 66) conectado a una grabadora Olympus LS-100, configurada a 44.1 kHz y una resolución de 16 bits. Este se posicionó en un ángulo de 45° respecto a la horizontal en dirección a la ubicación de cada individuo que estuviera cantando. La grabación se efectuó entre las 8:00 y las 14:00 horas, en un tiempo mínimo de 1 minuto o hasta que el ejemplar se alejó de la zona y a una distancia de entre 5 m a 15 m, priorizando la calidad de grabación (Sandoval, 2008; Ippi, Vásquez, Van Dongen, y Lazzoni, 2011). Durante cada grabación se registraron las condiciones ambientales de temperatura, humedad y velocidad del viento. El ruido ambiente fue evaluado utilizando un sonómetro EXTECH

407727 para determinar los decibeles máximos en cada uno de las zonas de muestreo con una configuración de tiempo de respuesta lento, una escala de ponderación C y un rango mínimo de 40 dB. Adicionalmente, se realizaron grabaciones del ruido ambiente en cada localidad con una grabadora Olympus LS-100 y se observó la variación por medio de un espectrograma.

Análisis de Canto

Para analizar la estructura de canto de *Z. capensis* se utilizó el programa RAVEN Lite 2.0 (Laboratorio de Ornitología de Universidad de Cornell). Se seleccionaron 3 vocalizaciones por individuo con la más alta nitidez, analizadas por medio de espectrogramas. Se promediaron los valores medios obtenidos para cada una de las variables del canto, definidas por Laiolo (2011b) y García *et al.*, (2015), las cuales son las siguientes: 1. Frecuencia máxima del tema, 2. Frecuencia mínima del tema, 3. Frecuencia máxima del trino, 4. Frecuencia mínima del trino, 5. Rango de frecuencia en el tema, 6. Rango de frecuencia en el trino, 7. Duración del tema, 8. Duración del trino, 9. Duración del canto de cada individuo (Figura 3). A partir de estas variables se analizaron las posibles diferencias entre los cantos de los individuos grabados entre las dos áreas focales. Fueron descartadas aquellas grabaciones que no permitieron un análisis riguroso de estas variables (véase Ippi *et al.*, 2011 y Pacheco y Losada, 2014).

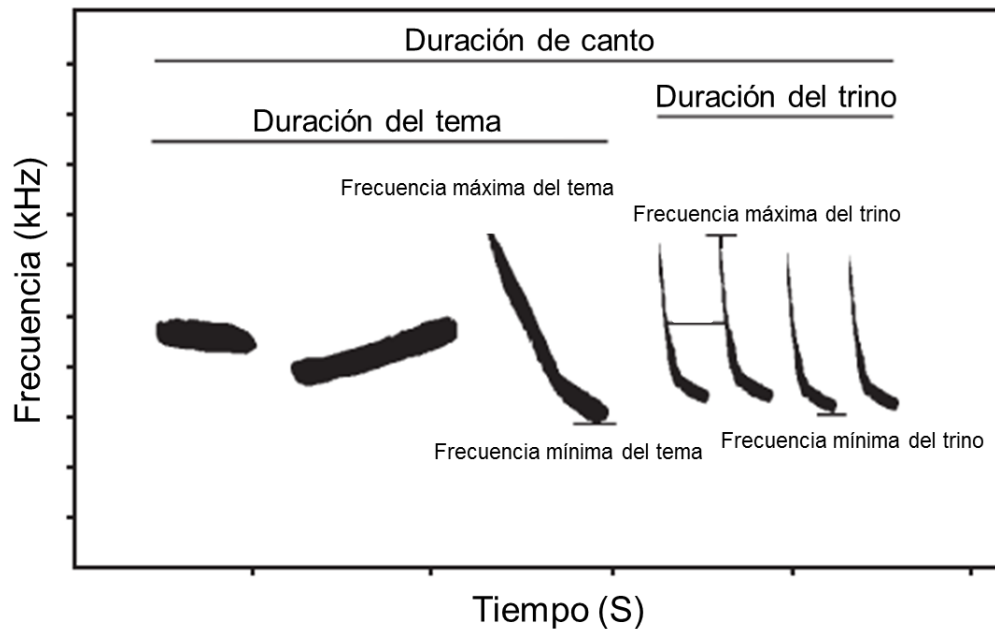


Figura 3. Espectrograma del canto de *Z. capensis* mostrando las variables medidas. Frecuencia máxima del tema, frecuencia mínima del tema, frecuencia máxima del trino, frecuencia mínima del trino, rango de frecuencia en el tema, rango de frecuencia en el trino, duración del tema, duración del trino y duración del canto (obtenido de García *et al.*, 2015).

Análisis de datos

Se conformaron dos bases de datos, una a partir de los rasgos morfológicos y otra con las variables de canto. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software R versión 3.5.1 (R Development Core team 2018). Para analizar la variación de los rasgos morfométricos, se realizó en primer lugar un análisis de componentes principales (PCA) que permitió seleccionar las variables con un mayor poder explicativo. Las variables seleccionadas fueron sometidas a las pruebas de normalidad y homocedasticidad, determinando que los datos cumplían los supuestos para su análisis con pruebas

estadísticas paramétrica. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) para explorar las posibles diferencias entre las medidas lineales con respecto a las variables respuesta y se complementó con un análisis de varianza (ANOVA) para discriminar las medidas de mayor significancia estadística. Para la variable masa corporal se realizó un análisis de varianza de un factor con permutaciones (ANOVA de Permutaciones) debido a que los datos no cumplían los supuestos de homogeneidad y homocedasticidad (Legendre *et al.*, 1990).

Para relacionar la masa corporal con las variables morfométricas se realizó una regresión lineal múltiple con el fin de determinar cuál es la variable explicativa que mejor se relacionó con la variable dependiente. Se determinó que los datos de la masa corporal de los machos cumplían con los supuestos de normalidad. Dado que la longitud del tarso fue la variable que mejor se relacionó, se analizó esta variable con relación a la masa corporal por medio de una regresión lineal simple en los individuos machos de *Z. capensis*. Por su parte, el índice de condición corporal se calculó con los residuales de la regresión entre la longitud del tarso y la masa corporal. Estos residuales se analizaron con un Anova de 1 vía cumpliendo los supuestos de normalidad (prueba de Kolmogorov–Smirnov) y homocedasticidad (prueba de Levene) (véase González-Gómez *et al.*, 2013). Para establecer la relación entre el índice NDVI y el índice de condición corporal, se realizó una correlación de Spearman con la desviación estándar entre los valores máximos y mínimos (como medida de fragmentación de hábitat) y con el promedio de los valores del índice (como medida de la productividad primaria).

Para las variables del canto se realizaron las pruebas de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad con la prueba de Levene, donde los datos no se ajustaron a la distribución normal. Por esto, para evaluar la estructura del canto y comparar las características medidas en ellos, se realizó un análisis de varianza multivariado con permutaciones para datos no paramétricos (PER-MANOVA) y posteriormente un análisis de varianza de un factor con permutaciones (Anova de Permutaciones) donde se diferencia como factor principal los ambientes urbanos y silvestres, dado que entre estos ambientes se registraron diferencias en los niveles de ruido ambiental. Además, se realizó un Per-Manova para observar si existía algún efecto debido a factores como la temperatura y la hora en que se registraron los cantos y sus interacciones. Por último, con el fin de asociar el ruido ambiental con las frecuencias mínimas de canto se realizó un Anova de permutaciones.

RESULTADOS

Morfología

Para los análisis de rasgos morfológicos se capturaron un total de 98 individuos (63 machos y 35 hembras), 34 en ambientes urbanos y de ambientes silvestres (35 en Quebrada de La Plata y 29 en Altos de Chicauma). Para las 9 variables se obtuvieron los datos de la media y la desviación estándar y se observó, en la mayoría de los casos que el promedio de las medidas fue más altas en los ambientes silvestres. A pesar de esto las desviaciones estándar fueron muy amplias en variables como la longitud de la cola, el ala y el hallux (Tabla 1). Por esto, se realizó un PCA con las variables de longitud respecto a los hábitats y se estableció qué variables como la longitud del tarso, de la cabeza, del culmen, el ancho del pico y el alto del pico (estructuras de tipo óseo) están asociadas positivamente al eje X explicando el 38.9% de la variabilidad de la masa corporal (Figura 4). Por su parte, variables como longitud de la cola y el ala pueden variar significativamente producto del deterioro de las plumas y en el caso del hallux, al desgaste de la uña y a la mayor dificultad técnica que implicó la toma de esta medida. Debido a esto y a que estas variables no presentaron normalidad, se descartaron para posteriores análisis.

Tabla 1. Medias y desviaciones estándar (D.E.) de las variables morfológicas de *Z. capensis* en ambientes urbanos y silvestres en temporada reproductiva.

	Urbano		Silvestre	
	Media	D.E.	Media	D.E.
Longitud del ala (mm)	73.147	3.560	73.242	3.172
Longitud de la cola (mm)	62.676	3.428	61.601	2.899
Longitud de la cabeza (mm)	30.518	0.556	31.063	0.629
Culmen expuesto (mm)	10.916	0.466	11.318	0.540
Altura del pico (mm)	6.024	0.289	6.144	0.261
Anchura del pico (mm)	5.440	0.223	5.736	0.307
Longitud del Tarso (mm)	21.059	0.692	21.595	0.616
Longitud de Hallux (mm)	14.265	0.540	14.316	0.393
Masa corporal (gr)	20.522	1.058	22.332	1.041

Las 5 variables seleccionadas presentaron una distribución normal, por lo cual se realizó un análisis de varianza multivariado (Manova) para determinar el efecto de la interacción entre el ambiente, el sexo y la temperatura (véase Anexo 3), y otro con la interacción entre el ambiente y el sexo (véase Anexo 4), sin presentar diferencias significativas en ninguno de los dos análisis respecto a estas variables.

Posteriormente, se realizó un Manova para evaluar el efecto del ambiente y el sexo de manera independiente (véase Tabla 2), donde ambas variables presentaron diferencias significativas, siendo mayor para los ambientes ($F=8.205$, $p<0.001$) respecto al sexo ($F=5.062$, $p<0.001$).

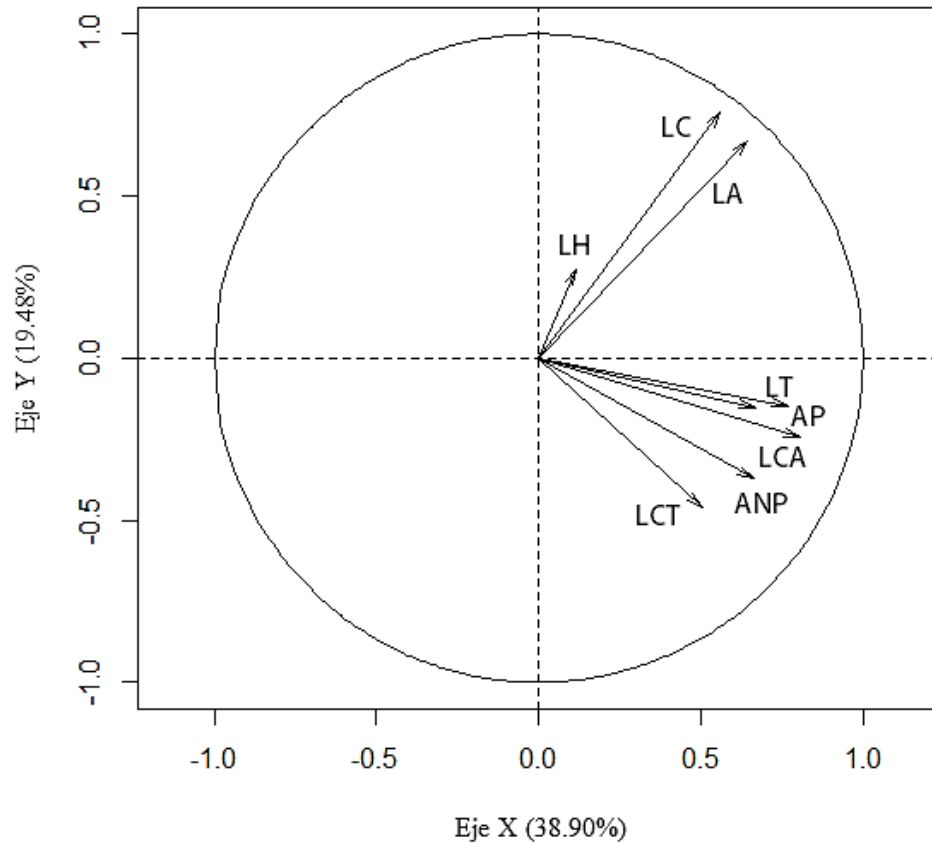


Figura 4. PCA de las 8 variables morfométricas. Se observa que se agrupan en dos grupos donde las variables en el eje X poseen mayor poder explicativo (Longitud de la cabeza (LCA), Longitud del Culmen expuesto (LCT), Ancho del pico (ANP), Alto del pico (AP), Longitud del tarso (LT)).

Tabla 2. Manova para las variables morfométricas evaluando el efecto de los dos ambientes (urbano y silvestre) y el sexo *Z. capensis*.

	DF	Pillai	aprox F	num Df	den Df	Prob(>F)
Ambiente	1	0.313	8.205	5	90	2.032e-06*
Sexo	1	0.219	5.062	5	90	0.00039*
Residuales	94					

Tabla 3. Anova por cada variable morfométricas evaluando el efecto de los dos ambientes (urbano y silvestre) y el sexo en *Z. capensis*.

Longitud de la Cabeza	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	6.569	6.569	19.548	2.632e-05**
Sexo	1	3.193	3.194	9.503	0.002692*
Residuales	94	31.591	0.336		
Longitud del Culmen	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	3.489	3.489	14.907	0.000207*
Sexo	1	3.501	3.501	14.961	0.000202*
Residuales	94	22.001	0.234		
Alto de Pico	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	0.322	0.322	4.766	0.031 *
Sexo	1	0.701	0.701	10.367	0.0017 **
Residuales	94	6.358	0.067		
Ancho de Pico	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	1.851	1.851	23.320	5.308e-06*
Sexo	1	0.001	0.001	0.018	0.892
Residuales	94	7.462	0.079		
Longitud del Tarso	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	6.191	6.190	15.899	0.00013**
Sexo	1	2.998	2.998	7.700	0.0067*
Residuales	94	36.601	0.389		

Los análisis de varianza de una vía para cada una de las variables morfométricas mostraron que existe un aumento en el tamaño corporal de los individuos de ambientes silvestres e indicaron que los machos poseen un mayor tamaño respecto a las hembras (Tabla 3). Únicamente el ancho del pico no presentó diferencias con relación al sexo.

La masa corporal no cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, pero por ser la variable que representa la masa de los individuos, se analizó mediante una Anova de permutaciones, teniendo en cuenta el ambiente y el sexo como variables explicativas (Tabla 4). Se observó que la masa corporal de los individuos machos es mayor que las hembras. Además, se estableció que las poblaciones de ambientes silvestres tienden a ser más pesadas con una diferencia media de 1,5 gramos, equivalente al 7% con relación al promedio de la masa corporal de los individuos de ambientes urbanos.

Tabla 4. Anova de permutaciones para la variable masa corporal evaluando el efecto de los ambientes y el sexo de los individuos.

Masa corporal	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	52.884	52.884	29.321	4.523e-07	0.001*
Residuales	96	173.146	1.803			
Masa corporal	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Sexo	1	12.742	12.742	5.735	0.0185	0.024*
Residuales	96	213.289	2.221			

Con el fin de comparar las diferencias entre la masa corporal y las variables de tamaño como una medida de condición corporal se realizó una regresión lineal múltiple. Para esto se utilizaron únicamente los individuos machos (61 individuos), debido a que estos cumplían con los supuestos de normalidad y homocedasticidad para esta prueba. Los resultados sugieren que las variables de longitud de tarso ($p < 0.001$) y longitud de la cabeza ($p = 0.017$) tiene diferencias significativas con respecto a la masa corporal (véase Anexo 1).

Tabla 5. Regresión lineal entre masa corporal y longitud del tarso en individuos machos *de Z. capensis* respecto al ambiente.

	Estimado	Error estándar	Valor T	Pr(> t)
intercepto	-2.419	4.184	-0.578	0.565
Longitud del Tarso	1.118	0.194	5.761	0.00000029*
R cuadrado	0.352		R cuadrado ajustado	0.342
Estadístico F:	33.19 en 1 y 61 DF		Valor p:	0.000000293

Posteriormente, se realizó una regresión lineal simple entre la masa corporal y la longitud de cabeza (r^2 ajustado=0.288, $p < 0.001$, véase Anexo 2) y entre la masa corporal y la longitud del tarso (r^2 ajustado=0.342, $p < 0.001$, Tabla 5), en donde se puede considerar que la medida del tarso respecto a la masa corporal, al presentar una mayor significancia y mayor valor del estadístico r^2 , explicar mejor la variable respuesta (masa corporal) en función de la variable explicativa (tamaño). Por último, se calculó el índice de condición corporal que fue evaluado con relaciona a los ambientes (tabla 6), este presentó diferencia significativa ($F = 22.01$, $p < 0.001$), siendo más alto en el ambiente silvestre (Figura 5).

Tabla 6. Índice de condición corporal con los residuales de la relación entre la masa corporal respecto a la longitud del tarso evaluado en cada ambiente en los machos de *Z. capensis*.

	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	19.72	19.719	22.01	0.0000158 *
Residuales	61	54.65	0.896		

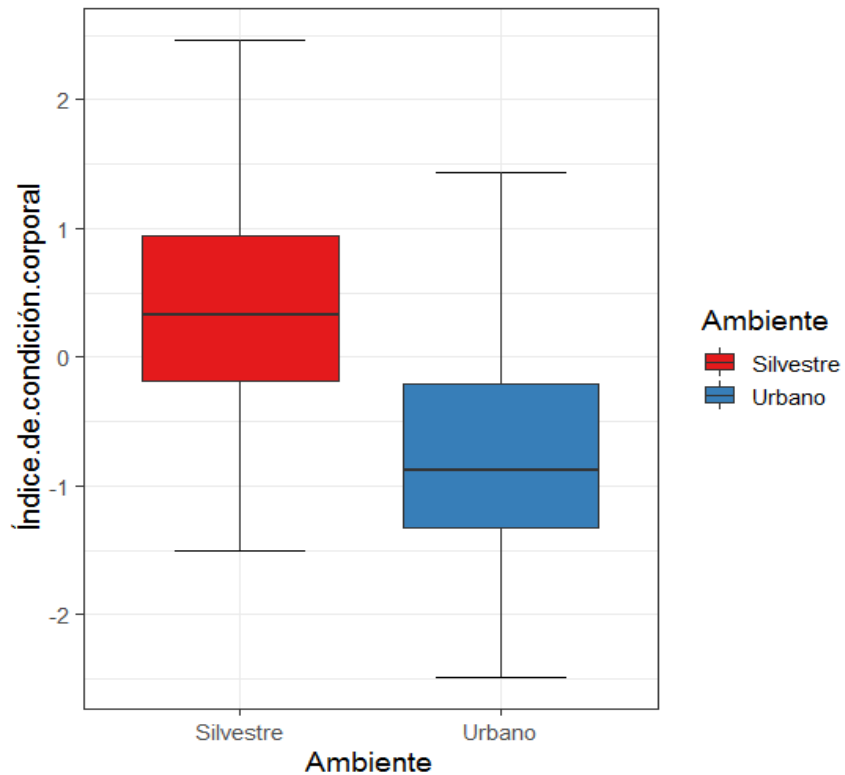


Figura 5. Variación del índice condición corporal entre los residuales de la masa corporal y la longitud del tarso entre individuos machos de ambientes urbanos y silvestres.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI)

Para el cálculo de la cobertura vegetal se consideró el índice de vegetación (NDVI), determinado a través de imágenes satelitales para cada sitio de muestreo en los meses de marzo, agosto y diciembre. Los valores asignados de acuerdo con las coberturas observadas en terreno fueron los siguientes: (i) de -0.15 a 0.15 corresponde a áreas rocosas, arenosas, cuerpos de agua natural o artificial, concreto o pavimento; (ii) de 0.161 a 0.3 a áreas con pasturas, arbustos o árboles nativos; (iii) de 0.31 a 0.6 a áreas con praderas, cultivos o jardines urbanos que presentan riego constante (Figura 6, véase Anexo 5).

Tabla 7. Valores medios, máximos y mínimos por pixel según los lineamientos del índice NDVI en los hábitats de muestreo para los meses de marzo, agosto y diciembre.

Localidad	Mes	Área (pixeles)	Valor Promedio del pixel	Valor Mínimo de pixel	Valor Máximo de pixel	Desviación estándar
Urbano	marzo	342	0.145	0.01	0.402	0.0569
		675	0.124	-0.008	0.402	0.0542
	agosto	342	0.077	-0.0335	0.265	0.0446
		675	0.062	-0.034	0.265	0.0624
	diciembre	342	0.197	-0.005	0.419	0.0794
		675	0.167	-0.005	0.419	0.0752
Altos de Chicauma	marzo	342	0.192	0.168	0.223	0.0099
		675	0.189	0.132	0.223	0.0097
	agosto	342	0.198	0.157	0.228	0.0011
		675	0.195	0.142	0.228	0.0128
	diciembre	342	0.214	0.184	0.249	0.0114
		675	0.213	0.151	0.255	0.0126
Quebrada la plata	marzo	342	0.147	0.057	0.259	0.0314
		675	0.149	0.057	0.259	0.0285
	agosto	342	0.259	0.126	0.385	0.0506
		675	0.265	0.126	0.415	0.0474
	diciembre	342	0.168	0.13	0.254	0.0250
		675	0.167	0.13	0.32	0.0243

Los resultados de la correlación de Spearman mostraron que la productividad primaria (como referente de la disponibilidad de alimento) registrada para el mes de agosto tiene una relación significativa y positiva ($\rho=0.458$, $p<0.001$) respecto al índice condición corporal, mientras que en diciembre no existió diferencia entre los ambientes y la condición corporal ($\rho=-0.032$, $p=0.800$). Esto se puede presentar dado que las condiciones ambientales y la estructura de la vegetación varían a lo largo del año. Para la fragmentación, donde se utilizó la desviación estándar del NDVI, se obtuvo como resultado una diferencia significativa ($p<0.001$) entre ambientes urbanos y silvestres, relacionando negativamente el aumento de la fragmentación con una disminución el índice condición corporal ($\rho= -0.449$).

Mediante el índice NDVI, se pudo establecer que existe una mayor homogeneidad de vegetación durante el año y una menor fragmentación en ambientes silvestres. Sin embargo, en el mes de diciembre los valores medios (asociados a productividad primaria) en Quebrada de La Plata son menores que los del área urbana asociado a la época del año, las condiciones ambientales y el tipo de vegetación (Tabla 7, Figuras 5 y 6). Por su parte, la localidad de Altos de Chicauma evidenció la mayor estabilidad de productividad primaria y un menor grado de fragmentación, dado que este hábitat descrito como bosque esclerófilo interior posee mayor heterogeneidad ambiental (Tabla 7, Figura 6).

Para el caso de los ambientes urbanos, el alto grado de fragmentación se asocia a las presiones antrópicas producto de la urbanización. Sin embargo, también se observan parches de vegetación asociadas a parques y jardines urbanos que presentan una alta

productividad primaria muy evidente durante los meses de verano (diciembre a marzo), manteniendo la disponibilidad de componentes ambientales para refugiarse, nidificar y alimentarse, lo que permite que los individuos de *Z. capensis* se establezcan en estos parches durante todo el año como residentes permanentes (Figura 7).

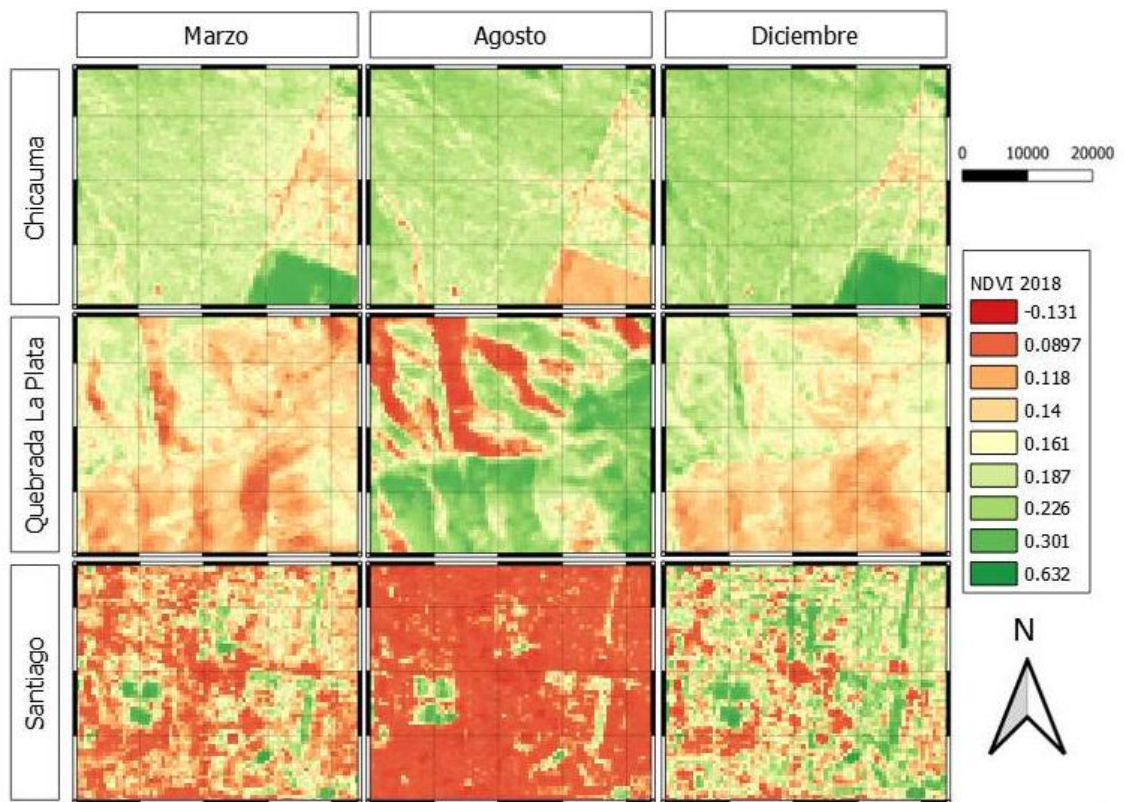


Figura 6. Mapa de los ambientes de muestreo (Altos de Chicauma, Quebrada de la Plata, UMCE y Universidad de Chile Campus Juan Gómez Milla en Santiago) Para los meses de marzo, agosto y diciembre del 2018, en donde se presentan las épocas de otoño, invierno y transición entre primavera y verano respectivamente.

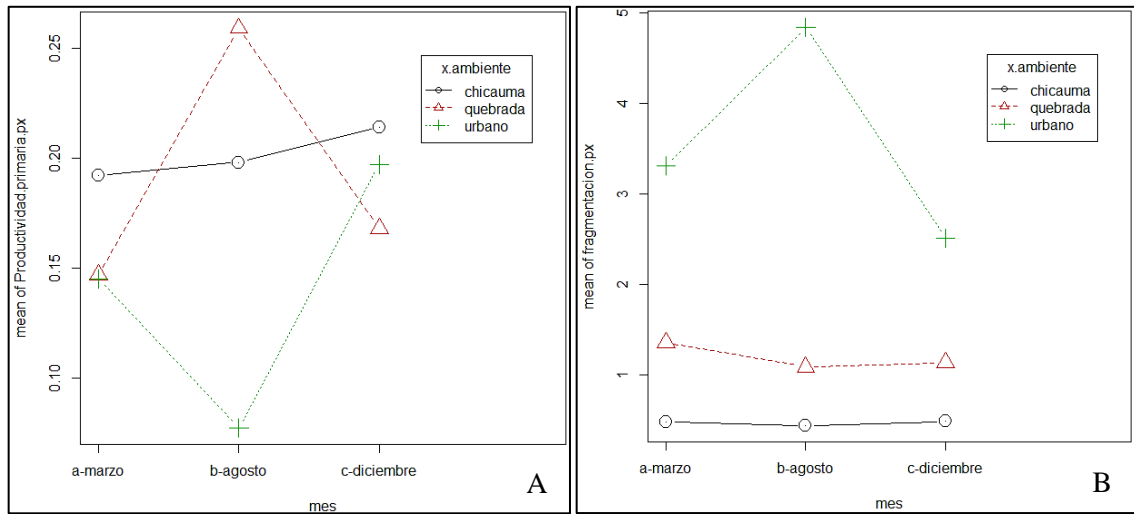


Figura 7. Variación de la A) Productividad primaria y B) Fragmentación para los meses de marzo, agosto y diciembre en función de cada ambiente.

Cantos

En total se registraron 45 cantos, 16 en el área urbana y 30 en áreas silvestres (13 en Quebrada La Plata y 17 en Altos de Chicauma). Los resultados de las variables definidas se resumen en la tabla 8. En general, se observó que la media de la frecuencia mínima del tema en los machos que se encuentran en hábitats silvestres es de 2.567kHz frente a los 3.146 kHz en los individuos de ambientes urbanos. El análisis de la varianza de medias mostro que existe un aumento significativo en las frecuencias de individuos de ambientes urbanos ($F= 168.84$, $p<0.001$) (véase Tabla 9), como se observa en la Figura 8B. Al comparar las medias de las 2 localidades de ambientes silvestres no se obtuvieron diferencias significativas entre ellas (Figura 8A).

Tabla 8. Medias y desviaciones estándar (D.E.) de las variables de canto de *Z. capensis* dentro de ambientes urbanos y silvestres dentro de una temporada reproductiva.

	Urbano		Silvestre	
	Media	D.E.	Media	D.E.
Duración canto (S)	1.789	0.230	1.762	0.146
Duración tema (S)	1.334	0.203	1.364	0.138
Duración trino (S)	0.426	0.061	0.339	0.021
Frecuencia máxima del tema (kHz)	6.737	0.306	6.599	0.411
Frecuencia máxima del trino (kHz)	6.564	0.273	6.195	0.371
Frecuencia mínima del tema (kHz)	3.146	0.149	2.567	0.141
Frecuencia mínima del trino (kHz)	3.717	0.190	3.323	0.308
Rango de frecuencia del tema (kHz)	3.591	0.284	4.032	0.423
Rango de frecuencia del trino (kHz)	2.847	0.334	2.872	0.530

Igualmente, se evidenció una variación entre las medias de la frecuencia mínima del trino, siendo más elevadas en individuos que habitan ambientes urbanos respecto a sus conespecíficos de ambientes silvestres (Tabla 8), donde existe una variación significativa entre los dos ambientes ($F= 21.572$, $p<0.001$, Tabla 9).

Otras variables como la frecuencia máxima ($F=12.214$, $p<0.001$) y la duración de trino ($F=49.542$, $p<0.001$), presentaron valores medios más altos en ambientes urbanos. En el caso del rango de frecuencia del tema, este fue mayor en ambientes silvestres respecto a los urbanos ($F=13.971$, $p<0.001$), producto de la variación en las frecuencias mínimas del tema (véase tabla 8 y Anexo 6).

El resultado de la prueba de permutaciones para evaluar el efecto de la interacción de los factores ambiente, temperatura y hora no mostró diferencias (Anexo 7), tampoco el

factor de ambiente y temperatura (Anexo 8) ni el de la interacción hora-ambiente (Anexo 9). Sin embargo, se observó una significancia leve ($p=0.026$, Anexo 10) en la hora de registro de los cantos.

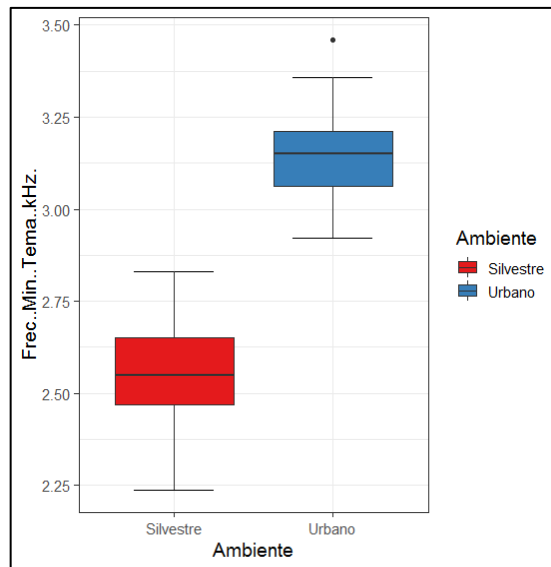


Figura 8. Diagrama de cajas que compara los ambientes urbano y silvestre para la frecuencia mínima del tema con un $p < 0.001$. La línea negra de las cajas indica el valor de la mediana, dentro de la caja se encuentran el 50% de los valores y los extremos de las barras muestran los valores mínimos y máximos.

Tabla 9. Anova de permutaciones para las frecuencias mínimas del tema y el trino en el canto de *Z. capensis*.

Frecuencia mínima del Tema	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	3.497	3.497	168.84	1.158e-16	0.001*
Residuales	44	0.911	0.021			
Frecuencia mínima del Trino	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	1.623	1.623	21.572	3.087e-05	0.001*
Residuales	44	3.309	0.075			

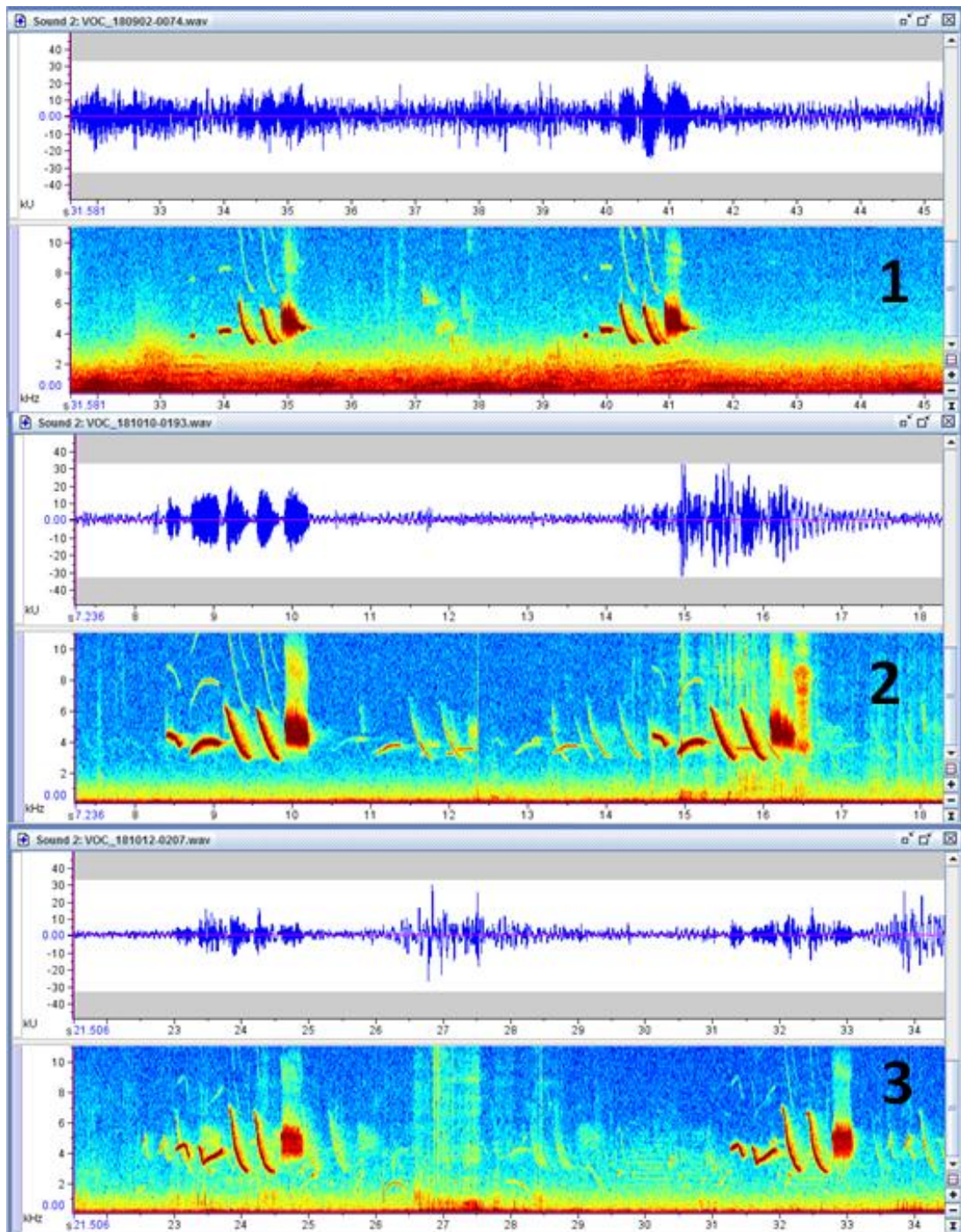


Figura 9. Espectrograma con cantos de *Z. capensis* en (1) Área Urbana, (2) Altos de Chicauma y (3) Quebrada la Plata. Se observa el ruido ambiente en la parte inferior del espectrograma en color rojo, en el área urbana es evidente una mayor incidencia de esta alteración con frecuencia por encima de 2 kHz.

Ruido ambiente

Se analizó el ruido ambiente con ayuda de los espectrogramas, en los que se distingue la influencia del ruido en ambientes urbanos, que puede alcanzar frecuencias por encima de los 2kHz producto de la contaminación acústica (Figura 9). Se registraron los promedios máximos de ruido ambiente calculados en decibeles (dB(C)), para la localidad de Quebrada de La Plata la media fue de 82.5dB, en Altos de Chicauma fue de 84.8dB y para el área urbana se registró un promedio de 101.91 dB, estableciendo en los ambientes silvestres una media de ruido ambiente máximo de 82.84 dB, 21.04 dB menos que el registrado en los ambientes urbanos. Posteriormente, se asoció el ruido ambiental máximo (dB) con las frecuencias mínimas de canto mediante un Anova de permutaciones obteniéndose una diferencia significativa ($F=168.49$, $p<0.001$). La figura 10 muestra la relación entre el ruido ambiente y las frecuencias mínimas de canto de *Z. capensis* según su ambiente.

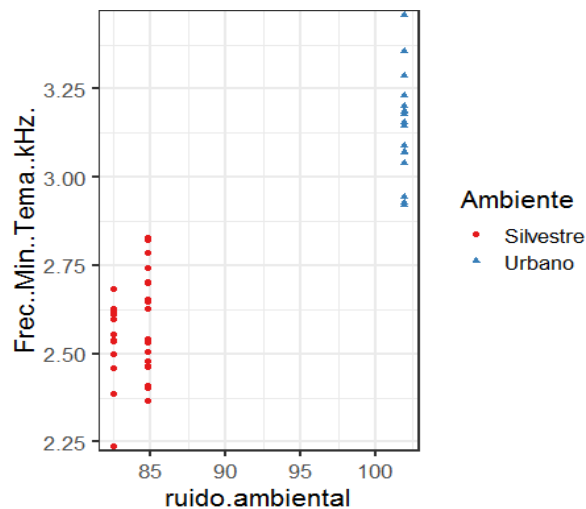


Figura 10. Relación del ruido ambiental máximo y las frecuencias mínimas de canto respecto a las ambientes. ▲ Urbano ● Silvestre.

DISCUSIÓN

Esta investigación evaluó la variación de las frecuencias y duración del canto respecto al ruido ambiente, así como la variación del tamaño y la masa corporal con relación a la disponibilidad de alimento entre poblaciones de *Z. capensis* que habitan ambientes urbanos y silvestres (no-urbanos) de la Región Metropolitana de Santiago, Chile, entre los meses de septiembre y diciembre de 2018. Se evidenció una masa y tamaño corporal mayor en individuos de hábitats silvestres asociado a la disponibilidad de alimento y al nivel de fragmentación del hábitat en el que se encuentran. Además, se encontró que las poblaciones de áreas silvestres presentan un aumento de sus características morfológicas que favorece al aumento de la condición corporal. Por otra parte, se demostró que el canto de las aves urbanas tiene frecuencias mínimas de canto más altas, debido al impacto del ruido ambiente y otras características de la estructura del canto como el rango de frecuencia del tema, la frecuencia máxima del trino y duración del trino, las cuales pueden verse alteradas por la estructura del hábitat y los niveles de ruido ambiental.

Morfología

Para las poblaciones de *Z. capensis* que habitan ambientes urbanos y silvestres se encontraron diferencias respecto a la masa corporal y también al tamaño corporal

relacionadas con estructuras como el tarso, la cabeza, el pico y el culmen, reflejando que los individuos de ambientes urbanos tienden a ser más pequeños y poseen un índice de condición corporal menor. Estas variaciones han sido descritas en otras especies de aves, entre ambientes urbanos y silvestres, del hemisferio norte. Por ejemplo, Meillère *et al.* (2015) y Liker *et al.* (2018) mostraron que los individuos de *Passer domesticus* poseen una menor longitud del tarso en los ambientes urbanos y proponen que esto podría indicar una producción de descendencia de menor calidad en las ciudades. Además, Meillère *et al.*, (2015) encontraron que los individuos de *P. domesticus* capturados en ambientes urbanizados poseían una menor masa corporal en comparación con los silvestres. Para *Z. capensis* se ha asociado que la disminución de la masa corporal en ambientes urbanos es debido a una mayor demanda de energía con relación a las condiciones del hábitat, el efecto de la competencia con otras especies de aves y la competencia intraespecífica de individuos de esta especie por alimento y refugio (Ruiz *et al.*, 2002). Este mismo estudio reportó que los individuos de *Z. capensis* están estresados de manera más aguda y crónica en áreas urbanas, produciendo una reducción en el peso (Ruiz *et al.*, 2002), evidenciando que la masa corporal de los individuos urbanos puede estar modificado debido a distintos factores de acuerdo al ambiente. Por su parte, Shochat (2004) menciona que ciertas aves pueden tener menor masa corporal en la ciudad, ya que existe una continua disponibilidad de alimento todo el año, por lo cual no requieren almacenar reservas energéticas.

Por otra parte, al analizar el índice de condición, donde se analizaron dos poblaciones silvestres y una población urbana, se observó que existe una diferencia entre los

individuos de poblaciones silvestres con respecto a los de población urbana. Esto se asemeja a los resultados encontrados por Liker *et al.*, (2018) en *P. domesticus*, los cuales son más grandes y poseen una mejor condición corporal en los hábitats silvestres. Sin embargo, para otras especies de aves como *Turdus merula*, se ha conocido que la relación entre el tamaño y las condiciones corporales entre ambientes urbanos y silvestres puede variar en relación a la distribución geográfica de la especie (Evans *et al.*, 2009).

Estos cambios en la morfología de las aves de ambientes urbanos y no-urbanos se han asociado a factores como la disponibilidad de alimento, la fragmentación y la temperatura ambiente, ya que pueden producir mayor niveles de estrés en las aves (Shochat, 2004). Por esto, para evaluar la asociación entre las variaciones morfológicas y de condición corporal de *Z. capensis* con la disponibilidad de alimento y la fragmentación se utilizó el índice NDVI. Este índice se ha relacionado con la actividad fotosintética y la productividad primaria (Herrmann, Anyamba, y Tucker, 2005) y de manera equivalente, ha sido descrito que una mayor productividad primaria puede aumentar la abundancia de alimento, como los artrópodos que son principal fuente de alimentación para muchas aves (Gordo, 2007). Por esto, se ha vinculado el NDVI a la disponibilidad de alimento y a la fragmentación, estableciendo que (1) una mayor productividad primaria genera una mayor disponibilidad de alimentos para las aves (Gordo, 2007), y (2) que existirá una mayor variabilidad del hábitat si se presenta una mayor variación entre el valor de los píxeles (Pettorelli *et al.*, 2011).

Por medio del índice NDVI se encontró que existe una mayor productividad primaria en ambientes silvestres durante la mayor parte del año. Sin embargo, en el mes de diciembre la productividad primaria en Quebrada de La Plata disminuye, debido a que las condiciones ambientales de sequía y calor en esta época del año no son favorables para la fisiología de las especies de plantas que conforman este hábitat. En la ciudad se observaron parches de vegetación asociadas a parques y jardines que presentan una buena productividad primaria que aumenta en los meses de verano (noviembre y marzo), que podría favorecer el establecimiento y supervivencia de *Z. capensis* en dicho ambiente.

Sin embargo, ya que esta especie se ha descrito como oportunista, se alimenta de semillas e insectos y muestra cambios estacionales en su dieta según la disponibilidad de alimentos (López-Calleja, 1995; Novoa, Veloso, y Bozinovic, 1996), los recursos alimenticios de los que esta especie se puede beneficiar en ambientes urbanos por fuentes indirectas como desechos o comedores artificiales son diversos (Shochat, 2004) y no son tomados en cuenta por el índice, lo que nos hace pensar que para aves omnívoras el índice NDVI puede que no sea el mejor estimador (por ser muy “grueso”), pero que no existe un mejor estimador para determinar la productividad primaria a gran escala. A pesar de esto, de manera general el índice mostró una productividad primaria mayor y constante en los ambientes silvestres que podría estar relacionada con un aumento en la masa corporal, el tamaño y la condición corporal producto de una mayor disponibilidad de recursos de alta calidad como semillas e insectos. Por otra parte, se observó que los individuos de ambientes silvestres migraban o se movían a hábitats con

mayor cantidad de recursos y refugio después de la temporada reproductiva, lo que podría facilitar el acceso a más recursos que facilitarían su crecimiento, mientras que los individuos que viven en ambientes urbanos eran residentes y solo podrían depender del alimento derivado de la productividad primaria de acuerdo a la temporada del año. Además, varias especies de aves, incluidos passeriformes como Cachudito, Zorzal, Chercán, Diuca, Fio-fio, Tordo, entre otros, se encuentran distribuidas en los dos ambientes, razón por la cual, no es concluyente que las diferencias en la diversidad de especies presentes en cada ambiente podrían afectar la disponibilidad de recursos por efectos de la competencia.

Para el caso de la fragmentación, los cambios registrados fueron muy marcados. Se encontró que en los ambientes urbanos de Santiago poseen una fragmentación notable debido al alto grado de urbanización, y esto puede afectar de manera directa al tamaño, la masa y la condición corporal de *Z. capensis*. Esta afirmación se sustenta con lo observado por Ruiz *et al.*, (2002), quienes sostienen que la fragmentación del hábitat podría imponer una mayor carga metabólica en las aves urbanas, producto de un mayor gasto en la explotación de los recursos alimenticios. Además, se observó que los individuos machos de *Z. capensis* que habitan en ambientes urbanos son más agresivos y territoriales que sus conespecíficos silvestres, situación que podría estar propiciada por la baja disponibilidad de territorio para anidar (Evans, Boudreau, y Hyman, 2010), la disponibilidad de recursos y/o la competencia intra e inter-específica (Shochat, 2004).

No obstante, se ha observado que varias especies de aves pueden sobrevivir y reproducirse con éxito en entornos urbanos, ya que pueden tolerar mejor las

perturbaciones humanas y utilizar una gran variedad de recursos que proveen estos ambientes (Evans *et al.*, 2009; Meillère *et al.*, 2015; Liker *et al.*, 2018). También, hemos observado que los individuos de *Z. capensis* son residentes continuos y permanecen en los mismos territorios durante todo el año, comportamiento que se ha observado en otras aves, como es el caso de *Turdus merula*, donde los individuos urbanos a menudo son menos migratorios que los rurales (Evans *et al.*, 2009).

Estudios como el de Díaz y Armesto (2003) indican que la disponibilidad de áreas para nidificar, alimentarse y refugiarse, como son los parques urbanos de la ciudad de Santiago, puede aumentar la riqueza de la avifauna asociada a estos ambientes. Sin embargo, el tamaño y la masa corporal más pequeña y una menor condición corporal en aves urbanas, se ha atribuido a divergencias adaptativas producto de las presiones ambientales diferentes entre áreas urbanas y silvestres (Evans *et al.*, 2009; Meillère *et al.*, 2015; Liker *et al.*, 2018). Además, Meillère *et al.*, (2015) sugieren que las variaciones morfológicas producto del efecto de urbanización podrían disminuir o aumentar dependiendo de las características locales de cada lugar. Por esto, se sugiere evaluar desde otras perspectivas factores como la disponibilidad de alimento, la fragmentación y los niveles de estrés que pueden presentar las poblaciones urbanas de *Z. capensis*, para establecer si estas variaciones morfológicas son un beneficio adaptativo o generan un costo importante en su adecuación biológica.

Canto

Para el canto de *Z. capensis* en la Región Metropolitana de Santiago se registraron variaciones en características como la frecuencia mínima del tema, la frecuencia mínima del trino, el rango de frecuencias, la frecuencia máxima y la duración de trino. Estas características asociadas a la estructura del canto pudieron ser modificadas por el ruido ambiente, aunque este factor podría no ser el único que estaría produciendo dichas variaciones. Las frecuencias mínimas de canto, relacionadas con las frecuencias mínimas del tema y el trino, mostraron un aumento de kHz en los cantos de individuos que habitan ambientes urbanos asociadas al efecto del ruido ambiental. En ese sentido, estudios realizados con *Z. capensis* como el de Laiolo (2011a) en Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, y el de Alvar y Soto (2015) en la ciudad de Valdivia, Chile, revelaron efectos similares en las frecuencias mínimas de canto con respecto a la incidencia del ruido ambiental. Así mismo, este patrón de variación en donde las aves tienden a cantar con frecuencias mínimas de cantos más altas en ambientes urbanos se ha reportado para especies como el Carbonero (*Parus major*) (Slabbekoorn y Peet, 2003) y el Mirlo (*Turdus merula*) (Nemeth *et al.*, 2013), lo cual evitaría que sus cantos sean enmascaradas en cierta medida por el ruido de las áreas urbanas.

Asociado a lo anterior, el rango de frecuencias mostró una modulación menor en individuos de ambientes urbanos debido a que estos elevan las frecuencias mínimas y sus frecuencias máximas nunca superan los 7 kHz, acción que lleva a reducir el rango de frecuencias en los individuos de ambientes urbanos. Esta variación también fue reportada por Alvar y Soto (2015), quien atribuye esto al efecto del ruido ambiental y al

periodo del día en el que se registró el canto. Esto se complementa con lo observado por Brown y Handford (2002), quienes afirman que la calidad de transmisión de la señal en el canto de las aves al amanecer es mejor que durante el día.

Por su parte, se presentó un aumento en las frecuencias máximas y una mayor duración del trino. Estos cambios en la estructura del trino han sido asociados por Handford y Loughheed (1991) y García *et al.* (2015) a ambientes con vegetación densa, como bosques y hábitats forestales. Teniendo en cuenta lo observado por Laiolo (2011b), donde las poblaciones de áreas silvestres y las urbanas de *Z. capensis* parecen poseer un mismo dialecto, se podría inferir que los ambientes urbanos generan modificaciones similares en las características del trino, debido a la composición urbanística que se asemeja a dichos ambientes de vegetación cerrada. Además, se ha observado que en especies de passeriformes como *Parus major* y *Turdus merula* la morfología urbana tiene influencia en el canto, sugiriendo que una mayor visibilidad del área verde en la matriz urbana va a permitir que el volumen de canto de los pájaros sea menor debido a la reducción del sonido reflejado por los edificios y esta correlacionada con la propagación del sonido de frecuencia más alta en el canto de las aves (Hao, Kang, y Krijnders, 2015).

De manera general, se ha descrito que el efecto del ruido ambiental, producto de la construcción, el tráfico y otras actividades antropogénicas, pueden enmascarar señales importantes que originan cambios en la estructura del canto de las aves, como el aumento de las frecuencias mínimas del canto (Slabbekoorn y Peet 2003; Laiolo 2011a; Mendes *et al.*, 2011; Slabbekoorn, 2013). Se ha planteado que estas variaciones en la estructura y características del canto de las aves ha sido resultado de la plasticidad

fenotípica asociada al éxito reproductivo (Slabbekoorn y Peet, 2003; Laiolo 2011a; Mendes *et al.*, 2011; Slabbekoorn, 2013), y en el caso específico de *Z. capensis*, a las cualidades del hábitat donde cantan (Tubaro *et al.*, 1993; García *et al.*, 2015) y al aprendizaje de cantos por parte de un tutor en etapas tempranas (Tubaro, Handford, y Segura, 1997).

Por otro lado, existen características morfológicas propias de las aves como el tamaño corporal, la masa corporal y/o el tamaño de la siringe, que podrían generar estas variaciones en las frecuencias mínimas de canto. Mendes *et al.*, (2011) sugieren que los cambios en el tamaño corporal podrían conducir a variaciones en la vocalización. En el presente estudio, se observó que individuos de *Z. capensis* de ambientes urbanos con menor masa y tamaño estarían generando cantos con frecuencias mínimas más altas, lo que sugiere una posible relación entre el canto y la morfología en esta especie. Esta misma idea fue postulada por Handford y Loughheed (1991), aseverando que una mayor masa corporal puede estar relacionada con frecuencias mínimas de canto menores. Sin embargo, dichos autores no pudieron asociar ninguna medida del tamaño corporal con respecto al tamaño de la siringe.

En conclusión, el ruido ambiental y las condiciones del hábitat, así como las variaciones morfológicas podrían modificar la estructura y características del canto de *Z. capensis* en ambientes urbanos. Esto podría significar un beneficio en aptitud física y éxito reproductivo, contribuyendo al establecimiento de estas poblaciones en áreas urbanas (Slabbekoorn, 2013) y permitiría explicar por qué otras especies fallan en colonizar ambientes urbano debido a presiones como la contaminación auditiva (Slabbekoorn y

Peet 2003; Slabbekoorn, 2013). Es por esto, que el estudio de la comunicación en las aves que habitan ambientes urbanos se ha convertido en un mecanismo importante para observar aspectos como el éxito reproductivo y la supervivencia, que pueden llegar a afectar a las poblaciones y ser un atributo a considerar para la conservación de las aves en ambientes urbanos. (Brown y Handford, 2002; Slabbekoorn y Peet, 2003; Laiolo, 2011a, 2011b; Nemeth *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados mostraron que los individuos de *Z. capensis* que habitan ambientes silvestres poseen un tamaño y masa corporal mayor, y además, presentan un incremento en su condición corporal respecto a sus conespecíficos de hábitats urbanos. Esta variación está asociada a la disponibilidad de alimento, que cumple un papel importante en las diferencias a nivel corporal pero se sugiere que otros factores como la fragmentación del hábitat también estarían modificando la morfología y la condición corporal de los individuos de esta especie que habitan en la ciudad. Por esta razón, se sugiere que las poblaciones que habitan en ambientes urbanos presentan diferencias adaptativas a nivel morfológico que permiten que se establezcan en este tipo de hábitats.

Por otro lado, se evidenció que existe un aumento de las frecuencias mínimas de canto en las aves urbanas como consecuencia del ruido ambiente, el cual afecta de manera directa a las poblaciones que viven en dichos hábitats. Además, otros rasgos de la estructura del canto de esta especie también fueron modificados debido a factores como las características espaciales del hábitat y el ruido ambiental. Producto de estos cambios, se sugiere que las modificaciones en la estructura del canto de *Z. capensis* que habita en ambientes urbanos podría ser el resultado de la plasticidad fenotípica, que permite que los individuos adapten su canto para evitar el enmascaramiento del ruido ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

Addis, E. A., Shallin-Busch, D., Clark, A. D, y Wingfield J. C. (2010). Seasonal and social modulation of testosterone in Costa Rican rufous-collared sparrows (*Zonotrichia capensis costaricensis*). *General and Comparative Endocrinology*, 166(3), 581–589.

Alvar, R, y Soto, M. (2015). Plasticidad fenotípica del canto en el chincol, *Zonotrichia capensis*: variación intraindividual por efecto de la actividad antrópica y ruido ambiente (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Avelino, M,F., y Vielliard, J. (2004). Comparative analysis of the song of the Rufous-collared Sparrow *Zonotrichia capensis* (Emberizidae) between Campinas and Botucatu, Sao Paulo State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 76(2), 345-349.

Brown, T. J., y Handford, P. (2002). Why birds sing at dawn: the role of consistent song transmission. *International Journal of Avian Science*, 145(1), 120–129.

Brumm, H, y Zollinger, S,A. (2011). The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. *Behaviour*, 148(1), 1173–1198.

Chapman, F. (1940). The Post-glacial history of *Zonotrichia capensis*. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 77(8), 381-438.

Di Castri, F. (1975). Esbozo ecológico de Chile. *Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas*. Lo Barnechea, Chile. 64 p.

Díaz, I. A., y Armesto, J. J. (2003). La conservación de las aves silvestres en ambientes urbanos de Santiago. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 19(2), 31–38.

Díaz, M., Parra, A., y Gallardo, C. (2011). Serins respond to anthropogenic noise by increasing vocal activity. *Behavioral Ecology*, 22(2), 332–336.

Evans, K. L., Gaston, K. J., Sharp, S. P., McGowan, A., y Hatchwell, B. J. (2009). The effect of urbanisation on avian morphology and latitudinal gradients in body size. *Oikos*, 118(2), 251–259.

Evans, J., Boudreau, K., y Hyman, J. (2010). Behavioural Syndromes in Urban and Rural Populations of Song Sparrows. *Ethology*. 116(7), 588–595.

Ferrado, F. (1999). Características físico-ambientales y riesgos de la comuna de Lampa, Región Metropolitana de Santiago, Chile. 96 p.

García, N. C., Arrieta, R. S., Kopuchian, C., y Tubaro, P.L. (2015). Stability and change through time in the dialects of a Neotropical songbird, the Rufous-collared Sparrow, *Emu - Austral Ornithology*, 115(4), 309-316.

Gil, D. (2014). Avian Urban Ecology: Behavioural and Physiological Adaptations. *Oxford University Press*, Oxford.

González-Gómez, P. L., Merrill, L., Ellis, V. A., Venegas, C., Pantoja, J. I., Vasquez, R. A., y Wingfield, J. C. (2013). Breaking down seasonality: Androgen modulation and stress response in a highly stable environment. *General and Comparative Endocrinology*, 191(1), 1–12.

Gordo, O. (2007). Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate Research*, 35(1-2), 37–58.

Handford, P. (1985). Morphological relationships among subspecies of the Rufous-collared Sparrow, *Zonotrichia capensis*. *Canadian Journal of Zoology Zool.* 63(10), 2383-2388.

Handford, P. y Loughheed, S. (1991). Variation in duration and frequency characters in the song of the rufous-collared sparrow, *Zonotrichia capensis*, with respect to habitat, trill dialects and body size. *The Condor*, 93(4), 644–658.

Hao, Y., Kang, J., y Krijnders, J. D. (2015). Integrated effects of urban morphology on birdsong loudness and visibility of green areas. *Landscape and Urban Planning*, 137, 149–162.

Herrmann, S. M., Anyamba, A., y Tucker, C. J. (2005). Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change*, 15(4), 394–404.

Ippi, S., Vásquez, R.A., Van Dongen, W., y Lazzoni, I. (2011). Geographic variation in the vocalizations of the subspecies Thorn-tailed Rayadito *Aphrastura spinicauda*. *International Journal of Avian Science*. 153(4), 789 - 805.

King, J. R. (1972), Variation in the Song of the Rufous-Collared Sparrow, *Zonotrichia capensis*, in Northwestern Argentina. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 30(4), 344-373.

Laiolo, P. (2011a). The rufous-collared sparrow *Zonotrichia capensis* utters higher frequency songs in urban habitats. *Catalan Journal of Ornithology*, 27(1), 25-30.

Laiolo, P. (2011b). Homogenisation of birdsong along a natural–urban gradient in Argentina. *Ethology Ecology & Evolution*, 23(3), 274–287.

Liker, A., Papp, Z., Bokony, V., y Lendvai, A. (2008). Lean birds in the city: body size and condition of house sparrows along the urbanization gradient. *Journal of animal ecology*, 77(4), 789-795.

López, J. P., Stiles, F. G., y Parra, J. L. (2015). Protocolo para la medición de rasgos funcionales en aves. pp 80-125. En: Salgado-Negret, B. (ed). La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Bogotá, D. C. Colombia. 236 p.

Lopez, M. V. (1995). Dieta de *Zonotrichia capensis* (Emberizidae) y *Diuca diuca* (Fringillidae): efecto de la variación estacional de los recursos tróficos y la riqueza de aves granívoras en Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*. 68(3), 321-331.

Lougheed, S. C., y Handford, P. (1992). Vocal dialects and the structure of geographic variation in morphological and allozymic characters in the rufous-collared sparrow, *Zonotrichia capensis*. *Evolution*, 46(5), 1443–1456.

Lougheed, S.C., Campagna, L., Dávila, J.A., Tubaro, P.L., Lijtmaer, D.A., y Handford, P. (2013). Continental phylogeography of an ecologically and morphologically diverse Neotropical songbird, *Zonotrichia capensis*. *BMC Evolutionary Biology*. 13(58), 1–16.

Legendre, P., Oden, N. L., Sokal, R. R., Vaudor, A., y Kim, J. (1990). Approximate analysis of variance of spatially autocorrelated regional data. *Journal of Classification*, 7(1), 53–75.

Luebert, F., y Pliscoff, P. (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. *Editorial Universitaria*, Santiago. 316 p.

Marler, P., y Slabbekoorn, H. (2004). Nature's music. The Science of Birdsong. San Diego, California. *Elsevier Academic Press*.

Meillère, A., Brischoux, F., Parenteau, C., Angelier, F., y Carere, C. (2015). Influence of Urbanization on Body Size, Condition, and Physiology in an Urban Exploiter: A Multi-Component Approach. *PloS one*. 10(8), e0135685.

Mendes, S., Colino, V., y Peris, S. (2011). Bird song variations along an urban gradient: The case of the European blackbird (*Turdus merula*). *Landscape and Urban Planning*. 99(1), 51-57.

Nemeth, E., Pieretti, N., Zollinger, S.A., Geberzahn, N., Partecke, J., Miranda, A.C. y Brumm, H. (2013). Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proceedings. Biological sciences*, 280 (1754), 20122798 .

Nottebohm, F. (1969). The song of the chingolo, *Zonotrichia capensis*, in Argentina: description and evaluation of a system of dialects. *The Condor*, 71(3), 299–315.

Nottebohm, F. (1975). Continental patterns of song variability in *Zonotrichia capensis*: some possible ecological correlates. *The American Naturalist*, 109(970), 605–624.

Novoa, F. F., Veloso, C., y Bozinovic, F. (1996). Seasonal Changes in Diet, Digestive Morphology and Digestive Efficiency in the Rufous-Collared Sparrow (*Zonotrichia capensis*) in Central Chile. *The Condor*, 98(4), 873-876.

Pacheco, G. y Losada, S. (2015). Efecto del ruido del tráfico vehicular en cantos de *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 6(2), 117–183.

Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jędrzejewska, B., Lima, M y Kausrud, K. (2011). The normalized difference vegetation index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 46(1), 15–27.

Pyle, P., Engilis Jr, A., y Kelt, D.A. (2015). Manual para estimar edad y sexo de aves terrestres del Parque Nacional Bosque Fray Jorge y Chile Central, con notas sobre rangos de distribución y estación reproductiva (*Special Publication of the Occasional Papers of the Museum of Natural Science*).

Poblete, Y., Gutiérrez, V., Cid, V., Newsome, S., Sabat, P. y Vasquez, R.A. (2018). Intraspecific variation in exploratory behavior and elevational affinity in a widely distributed songbird. *Oecologia*, 186(4), 931-938.

Quinn, G.P. y Keough, M.J. (2002). Experimental Design and Data Analysis for Biologists. Cambridge: *Cambridge University Press*.

Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, M. Thomas, E., de Sante, D. F. y Millá, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. Psw–gtr-159. Albany, CA. Research Station, Forest Service, *U.S. Department of Agriculture*, 46 p.

Reyes-Paecke, S., y Meza, S. (2011). Jardines residenciales en Santiago de Chile: Extensión, distribución y cobertura vegetal. *Revista chilena de historia natural*, 84(4), 581-592.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W. y Schell, J. A., (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19750020419>.

Ruiz, G., Rosenmann, M., Novoa, F.F., y Sabat, P. (2002). Hematological parameters and stress index in Rufous-collared Sparrows dwelling in urban environments. *The Condor*, 104(1), 162–166.

Salewski, V., Kéry, M., Herremans, M., Liechti, F., y Jenni, L. (2009). Estimating fat and protein fuel from fat and muscle scores in passerines. *International Journal of Avian Science*, 151(4), 640-653.

Sandoval, L.A. (2008). Función del canto y el territorio en machos de la Codorniz de Monte *colinus leucopogon* (Odontophoridae: Aves) durante el período reproductivo. (Tesis Magíster en biología) Universidad de Costa Rica.

Shochat, E. (2004). Credit or Debit? Resource Input Changes Population Dynamics of City-Slicker Birds. *Oikos*, 106(3), 622-626.

Shochat, E., Warren, P., Faeth, S., McIntyre, N., y Hope, D. (2006). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(4), 186–191.

Slabbekoorn, H., y Smith, T. B. (2002). Bird song, ecology and speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 357(1420), 493–503.

Slabbekoorn, H. y Peet, M. (2003). Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, 424(6946), 267–267.

Slabbekoorn, H. (2013). Songs of the city: Noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. *Animal Behaviour*. 85(5). 1089-1099.

Tubaro, P., Segura, E., y Handford, P. (1993). Geographic Variation in the Song of the Rufous-Collared Sparrow in Eastern Argentina. *The Condor*, 95(3), 588-595.

Tubaro, P. L., Handford, P. T. y Segura, E. T. (1997). Song learning in the Rufous-collared Sparrow (*Zonotrichia capensis*). *El Hornero*, 14(04), 204-210.

Wingfield, J.C., Kelley, J.P., y Angelier, F. (2011). What are extreme environmental conditions and how do organisms cope with them? *Current Zoology*, 57(3), 363–374.

ANEXOS

Morfología

Anexo 1. Regresión lineal múltiple para individuos de sexo masculino con las variables morfológicas seleccionadas respecto a la masa corporal.

	Estimado	Error estándar	Valor T	Pr(> t)
intercepto	-18.489	6.526	-2.833	0.006
Altura de Pico	-0.311	0.664	-0.470	0.640
Anchura de Pico	0.466	0.498	0.935	0.353
Longitud del Culmen	-0.084	0.315	-0.268	0.789
Longitud de la Cabeza	0.761	0.308	2.464	0.017*
Longitud del Tarso	0.781	0.214	3.637	0.0006**

Anexo 2. Regresión lineal entre masa corporal-Cabeza en individuos masculinos de *Z. capensis* respecto al ambiente.

	Estimado	Error estándar	Valor T	Pr(> t)
intercepto	-12.4768	6.7264	-1.855	0.0685
Longitud del Tarso	1.1012	0.2169	5.076	0.000004 *
R cuadrado	0.3004		R cuadrado ajustado	0.2888
Estadístico F:	25.77 en 1 y 60 DF		Valor p:	0.000004

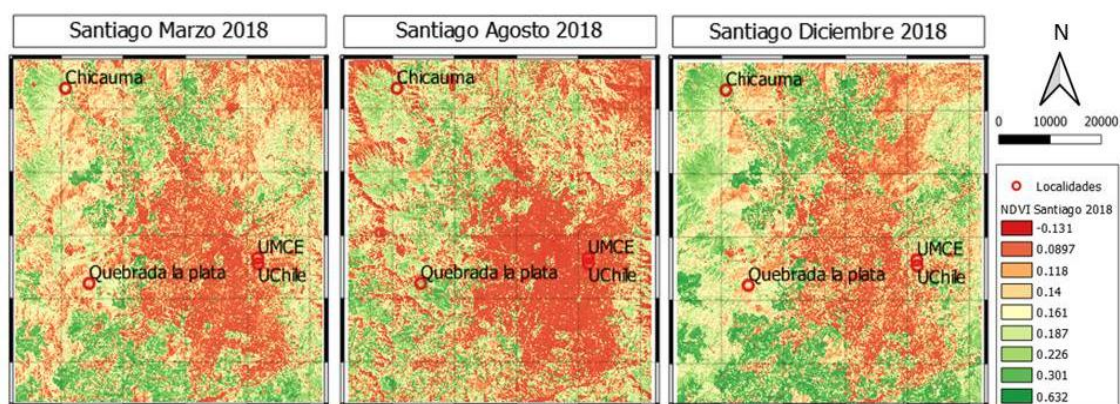
Anexo 3. Manova de las variables morfológicas para las interacciones entre ambiente, sexo y temperatura.

	DF	Pillai	aprox F	num Df	den Df	Prob(>F)
Ambiente	1	0.300	7.123	5	83	1.378e-05*
Sexo	1	0.245	5.407	5	83	0.000236*
Temperatura	1	0.122	2.320	5	83	0.050
Ambiente:Sexo	1	0.041	0.706	5	83	0.620
Ambiente:Temperatura	1	0.043	0.741	5	83	0.594
Sexo:Temperatura	1	0.082	1.477	5	83	0.206
Ambiente:Sexo:Temperatura	1	0.035	0.616	5	83	0.688
Residuales	87					

Anexo 4. Manova de las variables morfológicas para las interacciones entre ambiente y sexo.

	DF	Pillai	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Ambiente	1	0.313	8.116	5	89	2.407e-06*
Sexo	1	0.220	5.039	5	89	0.00041*
Ambiente:Sexo	1	0.032	0.597	5	89	0.702
Residuales	93					

Anexo 5. Mapa general de la Región Metropolitana de Santiago incluyendo cada uno de los puntos de muestreo. Se visualiza en escala de rojo las zonas de vegetación nula, cuerpos de agua y estructuras de concreto o pavimento o suelos descubiertos y de amarillo a verde las zonas que poseen algún tipo de vegetación desde pastizales hasta zonas de cultivo según el índice de vegetación diferencial normalizado para los meses de Marzo, Agosto y Diciembre del 2018, equivalentemente en estos meses se presentan las épocas de otoño, invierno y transición entre primavera y verano respectivamente.



Canto

Anexo 6. Anova de permutaciones para las variables de canto de *Z. capensis*.

Frecuencia mínima del Tema	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	3.497	3.497	168.84	1.158e-16	0.001*
Residuales	44	0.911	0.021			
Frecuencia mínima del Trino	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	1.623	1.623	21.572	3.087e-05	0.001*
Residuales	44	3.309	0.075			
Frecuencia máxima del Tema	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	0.196	0.196	1.372	0.247	0.224
Residuales	44	6.307	0.143			
Frecuencia máxima del Trino	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	1.420	1.420	12.214	0.001	0.001*
Residuales	44	5.11	0.116			
Rango de frecuencia del Tema	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	2.034	2.034	13.971	5.306e-04	0.001*
Residuales	44	6.406	0.145			

Rango de frecuencia del Trino	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	0.0067	0.0067	0.03	0.862	0.847
Residuales	44	9.837	0.223			
Duración del Tema	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	0.0093	0.0093	0.349	0.557	0.571
Residuales	44	1.176	0.0267			
Duración del Trino	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	0.078	0.078	49.542	1.003e-08	0.001*
Residuales	44	0.069	0.0015			
Duración del Canto	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(param)	Prob(perm)
Ambiente	1	0.0078	0.0078	0.245	0.622	0.637
Residuales	44	1.413	0.0321			

Anexo 7. Manova de permutaciones de las variables de canto para las interacciones entre ambiente, hora y temperatura.

	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	0.0164	0.240	13.733	0.001*
Hora	1	0.0033	0.049	2.817	0.024*
Temperatura	1	0.0002	0.003	0.174	0.936
Ambiente:Hora	1	0.0013	0.019	1.084	0.365
Ambiente:Temperatura	1	0.0009	0.014	0.816	0.506
Hora:Temperatura	1	0.0002	0.003	0.194	0.913
Ambiente:Hora:Temperatura	1	0.0004	0.006	0.376	0.816
Residuales	38	0.045	0.664		
Total	45	0.068	1		

Anexo 8. Manova de permutaciones de las variables de canto para las interacciones entre ambiente y temperatura.

	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	0.016	0.240	13.608	0.001*
Temperatura	1	0.0001	0.002	0.140	0.953
Ambiente:Temperatura	1	0.001	0.016	0.927	0.479
Residuales	42	0.050	0.741		
Total	45	0.068	1		

Anexo 9. Manova de permutaciones de las variables de canto para las interacciones entre ambiente y hora.

	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	0.016	0.24	14.578	0.001*
Hora	1	0.003	0.049	2.99	0.020*
Ambiente:Hora	1	0.001	0.018	1.145	0.338
Residuales	42	0.047	0.691		
Total	45	0.064	1		

Anexo 10. Manova de permutaciones de las variables de canto para los efectos de ambiente y hora.

	DF	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Prob(>F)
Ambiente	1	0.016	0.24	14.592	0.001*
Hora	1	0.003	0.049	2.981	0.029*
Residuales	43	0.048	0.71		
Total	45	0.068	1		