



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN**

**‘VARIACIÓN ESPACIAL DE CANTOS DE *Zonotrichia capensis* EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR’**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN**

**Autor:**

**Neysser Omar Alegría Viteri**

**Director:**

**Ecol. David Siddons**

**CUENCA, ECUADOR  
2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco la oportunidad de haber estudiado Biología, como el continuo aprendizaje de la vida y el vínculo implícito con la naturaleza que tanto me apasiona. Nada de esto hubiera sido posible sin la ayuda de mi familia, el apoyo incondicional de mi mamá, la perseverancia y amigos.

Gracias al conocimiento transmitido de mi Director de Tesis, Ecol. David Siddons y mi tribunal: Ing. Omar Delgado y el Dr. Boris Tinoco por sus recomendaciones.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	i
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	iv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
<b>1.1. Marco Teórico</b> .....	4
CAPÍTULO 1.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
<b>1.1 Área de estudio</b> .....	11
<b>1.2 Grabaciones de los cantos</b> .....	13
<b>1.3 Análisis de Datos (cantos)</b> .....	13
<b>1.4 Análisis Estadísticos</b> .....	15
CAPÍTULO 2.....	18
RESULTADOS.....	18
Características cualitativas de la estructura del canto .....	19
CAPÍTULO 3.....	31
DISCUSIONES.....	31
CONCLUSIONES .....	37
BIBLIOGRAFÍA .....	38
ANEXOS .....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la provincia del Azuay y del Ecuador con la ubicación donde se realizó las grabaciones de cantos. Se clasificó por tipo de hábitat; sitios rurales, semiurbanos y urbanos. Fuente: ArcMap 10.5..	11
Figura 2. Mapa del cantón Cuenca con la ubicación de los cantos obtenidos. Incluye varios sitios en parques, avenidas y periferias de la ciudad. Fuente: ArcMap 10.5 .....	12
Figura 3. Espectrograma de Raven Pro 1.5. Representa la medición de variables usadas en este estudio para evaluar la complejidad de cantos, se midió las notas introductorias del tema (1, 2, pre), trino y la medición completa (full). Las medidas de cada elemento obtenidas de las variables se muestran en ‘Table 1’.....	14
Figura 4. Cuatro cantos de <i>Zonotrichia capensis</i> . En el lado A, se encuentran cantos característicos de hábitats Urbanos y Semi-urbanos, presentan el PFC máximo entre 7.5 y 10 KHz. En el lado B, se encuentran cantos característicos de hábitats rurales con ausencia de ruido antropogénico, generalmente el PFC máximo oscila entre 5 y 7.5 KHz.....	18
Figura 5. Pearson's Chi-squared test. Relación entre el hábitat y el número de notas. ....	20
Figura 6. Correlación de las variables: PFC mínima, PFC máxima, PFC número de puntos de inflexión y el IQR banda ancha. Las correlaciones positivas se muestran en azul y las negativas en rojo, la intensidad del color y el tamaño del círculo son proporcionales a los coeficientes de correlación (Wei & Simko, 2017). .....	20
Figura 7. Diagrama de Ordenación de escalas multidimensionales no métricas (NMDS) del elemento ‘pre’ (la nota antes del trino). Los pequeños círculos representan las muestras de los cantos distribuidos espacialmente en función de las variables medidas: PFC_Max_Freq, PFC_Min_Freq, PFC_Num_Inf_Pts, IQR_BW, las cuales están representados por las cruces rojas. ....	21
Figura 8. Diagrama de Ordenación de escalas multidimensionales no métricas (NMDS) del ‘trino’. El trino exhibe variación en distancias más grandes, muestra una diferencia significativa de la media de las poblaciones Rurales: R (9 de Oct) rodeado de vegetación densa y Q (Pintag) rodeado de vegetación arbustiva y de pastizales, separados por más de 450km, pero ambos tienen en común la longitud de trino más largo y de banda ancha más estrecha que las otras poblaciones. ....	22
Figura 9. Diagrama de Ordenación de escalas multidimensionales no métricas (NMDS) del conjunto de cada uno de las estructuras de los cantos o análisis completo ‘full’. Los pequeños círculos representan las muestras de los cantos distribuidos espacialmente en función de las medidas utilizadas: PFC_Max_Freq, PFC_Min_Freq, PFC_Num_Inf_Pts, IQR_BW, las cuales se representan en las cruces rojas. Los datos fueron unidos por Individuos con coordenadas geográficas y medidas propias como longitud del canto, nivel de ruido y tipo de hábitat. Se muestra variación entre poblaciones, siendo significativa la diferencia con la población R (9 de Oct) que presenta la longitud del canto mayor que las demás poblaciones. ....	22
Figura 10. Boxplot notch del ANOVA por hábitat de la nota ‘pre’ en rangos de Hz y para la longitud en (s). .....	24
Figura 11. Boxplot notch del ANOVA por hábitat del ‘trino’ en rangos de Hz y para la longitud en (s). .	25
Figura 12. Boxplot notch del ANOVA por hábitat de las medidas completas ‘full’ en rangos de Hz y para la longitud en (s). ....	26
Figura 13. Intervalos de confianza de Tukey de la nota ‘pre’.....	28
Figura 14. Intervalos de confianza de Tukey del ‘trino’.....	29
Figura 15. Intervalos de confianza de Tukey de las medidas completas ‘full’ .....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de medidas utilizadas en la caracterización de los cantos de <i>Zonotrichia capensis</i> (Derryberry, 2014; Hill et al., 2017; Moseley et al., 2018).....	15
Tabla 2. Resumen estadístico de 7 variables de cantos de <i>Zonotrichia capensis</i> grabadas separadamente por hábitat.....	19
Tabla 3. Resumen bondad de ajuste de “envfit” muestra la correlación máxima de variables ambientales (clases) con la estructura de los cantos: pre, trino y full. ....	21
Tabla 4. Resumen del análisis de varianza de notas pre, trino y completo (full).....	23
Tabla 5. Prueba Tukey del ANOVA por hábitat de las variables más significativas de las estructuras del canto analizadas .....	27
Tabla 6. Resumen de las variables medidas de cantos de <i>Zonotrichia capensis</i> . ....	48
Tabla 7 . Ejemplo de datos clasificados individualmente con cada una de sus variables. ....	49
Tabla 8. Diferencias entre sitios por las variables ambientales (Todas los registros de mE, mS corresponden a las Coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_17S). ....	50
Tabla 9. Prueba ANOVA por hábitat.....	51

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. (A) Forma de onda de Raven Pro 1.5. Muestra la amplitud del canto cambia instantáneamente con las fluctuaciones de niveles de ruido, es medido en el eje vertical en kilounidades, la energía es distribuida en función de la frecuencia máxima, referente a la unidad proporcional de presión sobre el micrófono durante la producción y representación de un canto. (B) Sonograma de Raven Pro 1.5. Representa la medición de las firmas únicas de los cantos, nos indica la estructura y cada uno de sus elementos que se usaron en esta investigación para analizar la complejidad del canto. Esta muestra pertenece al hábitat semiurbano. ....	41
Anexo 2. Espectrograma de un canto estilizado de <i>Zonotrichia capensis</i> que muestra las medidas de las nota en secuencia de izquierda a derecha, empieza por el tema o notas introductorias y termina en el trino (Handford & Lougheed, 1991).....	42
Anexo 3. Elipse de confianza del 95% alrededor de las medias de grupos en función de características de los cantos PC1 y PC2 (Handford & Lougheed, 1991). ....	42
Anexo 4. Mapa de territorios de <i>Zonotrichia capensis</i> alrededor de una casa y jardines, cada territorio es designado en función de las características del trino y pueden haber diversas poblaciones dentro de un mismo sector que varían fenotípicamente en los cantos (Miller & Miller, 2015). ....	43
Anexo 5. Tres individuos de <i>Zonotrichia capensis</i> , a: hembra o juvenil; b y c: machos. © Neysser Alegría .....	44
Anexo 6. Espectrogramas con cada uno de los cantos analizados que varían en la forma y características de sus estructuras. ....	47

## RESUMEN

El Gorrión Chingolo *Zonotrichia capensis* presenta diversos fenotipos vocales en sus cantos, estos son aprendidos de individuos cercanos. Errores durante el aprendizaje permite la divergencia de cantos y podría generar dialectos geográficos, esas características varían en forma y estructura en el espectrograma. En Cuenca, sus periferias y otros sitios se grabó, midió y comparó cada estructura de cantos masculinos, siendo la nota 'pre, trino y full' lo más relevante para encontrar diferencias significativas entre individuos, pero mayores diferencias entre poblaciones rurales y urbanas, principalmente en la frecuencia máxima, banda ancha, longitud del trino y en el número de notas. El hábitat urbano muestra mayor variabilidad de notas introductorias en estrechos rangos geográficos, esta plasticidad vocal pudo favorecer el colonizar ambientes ruidosos. El rol de la diversidad de cantos entre poblaciones de gorriones andinos es poco explorado, esta investigación es un primer acercamiento al complejo sistema de comunicación acústica del gorrión.

Palabras clave: Enmascaramiento acústico, fenotipo vocal, tema, trino, dialecto.



Ecol. David Siddons  
Dr. Antonio Crespo

Director del Trabajo de Titulación



Coordinador de la Escuela



Neysser Alegría

Autor

## ABSTRACT

The Rufous-collared sparrow *Zonotrichia capensis* presents diverse vocal phenotypes in its songs, which are learned from close individuals. Errors during learning allow the divergence of songs. This could generate geographical dialects, with characteristics that vary in shape and structure in the spectrogram. In Cuenca, its peripheries and other sites, each structure of male songs was recorded, measured and compared, being the note 'pre, trill and full' the most relevant to find significant differences between individuals, but greater differences between rural and urban populations, mainly in the maximum frequency, bandwidth and length of the trill, and in the number of notes were found. The urban habitat showed greater variability of introductory notes in narrow geographic ranges; this vocal plasticity could favor the colonization of noisy environments. The role of song diversity among Andean sparrow populations is little explored. Thus, this research is a first approach to the complex acoustic communication system of the sparrow.

Keywords: Acoustic masking, vocal phenotype, theme, trill, dialect.



Ecol. David Siddons

Director del Trabajo de Titulación



Dr. Antonio Crespo

Coordinador de la Escuela



Neysser Alegría

Autor



Translated by



# INTRODUCCIÓN

Los animales que se han adaptado a vivir en ambientes urbanos a menudo han modificado sus vocalizaciones por influencias antropogénicas (Gentry et al., 2017; Luther & Derryberry, 2012). Paisajes antrópicos y paisajes sonoros sugieren fuerte presión selectiva en varias especies, especialmente en las que se comunican acústicamente. Animales como insectos, anuros, cetáceos, y aves pueden manifestar cambios en sus vocalizaciones (Phillips & Gentry, 2018). Las aves usan el canto para comunicarse y buscan modificar el comportamiento animal con individuos de su misma especie, ya sea para marcar y delimitar su territorio de otros machos o para selección sexual (Graham et al., 2016; Grunst et al., 2018; Hill et al., 2017; Pacheco & Losada, 2015; Phillips & Gentry, 2018).

La información que está contenida en los cantos es multidimensional, la presión selectiva actúa sobre la complejidad de los fenotipos vocales y pueden evolucionar a más de un mecanismo selectivo (Grunst, et al., 2018). El canto es un componente evolutivo ya que actúa como barrera de aislamiento pre apareamiento y consecuentemente en la formación de nuevas especies (Aguilar J. M., 2016; Bolus, 2014; Toews, 2017).

La variación en las vocalizaciones de una misma especie en un rango geográfico estrecho o amplio es un fenómeno conocido y distribuido en las aves (Araya-Salas 2010, citado en Escalante, 2013). Los cantos en aves *Passeriformes* varían geográficamente y modifican sus vocalizaciones en función de factores ambientales como el ruido antrópico (Escalante, 2013). La variabilidad está correlacionado a la historia evolutiva, flujo de genes, barreras geográficas, aislamiento ecológico, ambiente cultural y permanecer en grupos cercanos (Escalante, 2013).

El gorrión *Zonotrichia capensis*, es una de las 4 especies del género *Zonotrichia*, perteneciente a la familia Fringillidae, es común de amplia distribución geográfica con múltiples dialectos, desde México hasta el sur de Argentina ( Danner, 2017; Nottebohm & Selander, 1972). Esta especie se encuentra a través de los Andes entre los 1000 y 3700 msnm (Danner 2017; Cadena-ortiz 2018); frecuentan los hábitats abiertos en ambientes rurales y urbanos (Phillips & Gentry, 2018). Está comprendido por tres distintos linajes filogenéticos, la división filogenética más profunda se produce entre el linaje que ocupa América Central y el noroeste de Sur América, dos linajes que incluyen todas las poblaciones para el sur y este ( Danner, 2017; Nottebohm & Selander, 1972).

La comunicación acústica en poblaciones urbanas y semiurbanas está especialmente afectada por contaminación de ruido que a menudo es de alta energía en baja frecuencia, esto puede afectar la percepción correcta de las señales auditivas, principalmente del canto ya que se enmascara con el

ruido, lo cual tiene efectos negativos en la selección sexual, estrategias de forrajeo, defensa de recursos o territorio, cuidado parental, alerta a los predadores y el éxito reproductivo (Luther & Derryberry, 2012; Moseley et al., 2018). Los gorriones como adaptación a este disturbio necesitaron modificar el comportamiento acústico en función de los niveles de ruido, estas estrategias consisten en acercarse para ser escuchados e incrementar la amplitud o frecuencia de sus cantos para evitar el enmascaramiento, conocido como ‘flexibilidad inmediata’ (Derryberry, et al., 2017; Derryberry, 2014; Gentry et al., 2017; León et al., 2014; Moseley et al., 2018; Pacheco, et al., 2015).

El lenguaje humano y muchos cantos de aves presentan dialectos regionales en sus vocalizaciones (Toews, 2017). Las diferentes formas de canto no son heredadas, sino aprendidas; estas características tienen una forma determinada en el espectrograma y corresponden al lugar donde nace geográficamente (Egli, 1971). Usualmente los gorriones jóvenes aprenden a cantar mediante un tutor cercano en alrededor de 100 días (Danner et al. 2011). Errores durante el aprendizaje permite una evolución cultural y puede generar dialectos geográficos igual como sucede en los humanos; estos errores se convierten en mutaciones culturales, análogo a la evolución genética, de padres a sus descendientes y un cruce horizontal entre individuos que alcanzan a escuchar cantando (Danner, 2017; Danner., et al, 2012; Toews, 2017).

La diversidad de cantos también es el equivalente de estructura y variación genética de las poblaciones. Dado que el gorrión es un ave con alta fidelidad de territorio, no se dispersan grandes distancias. Así la diversidad de cantos en una región generalmente puede darse por factores ambientales, dispersión limitada, deriva y evolución cultural (Aguilar J. M., 2016; Egli, 1971; Toews, 2017).

Dialecto es la variación de cantos que dentro de una población puede ser menor que entre poblaciones, esta variación responde como una característica o patrón ligado a la localidad geográfica (Luther and Derryberry 2012; Danner et al. 2012). Los cantos varían según la elevación potencialmente debido a diferencias ecológicas del entorno (Danner, 2017).

El canto es usado para reconocimiento a los de su especie, así la evolución del canto funciona como una barrera aislante pre-cortejo (Toews, 2017), pues las aves que no pueden reconocer a otras no copulan (Bolus, 2014). El canto de *Z. capensis* es homólogo a los cantos de *Z. leucophrys* y *Z. atricapilla*, estos pueden tener cantos diurnos, estacionales y ocasionalmente un canto en medio de la noche es escuchado (Miller & Miller, 2015). Los gorriones generalmente usan vocalizaciones desde los 4 días de nacidos, un débil sonido es emitido que significa búsqueda de comida, pero a lo largo de su vida desarrollan 4 tipos de vocalizaciones; uno: alarma o llamado presenta una nota, es un sonido agudo similar al sonido de ansiedad, pero de bajo volumen; dos: ansiedad, es un sonido agudo, corto y fuerte; tres: chillido de defensa es un sonido áspero, fuerte

y prolongado que emiten cuando son atacados por otro gorrión o un depredador y cuatro: el canto, en el cual está centrado esta investigación, es un canto sexual o de defensa de territorio exclusivo de los machos, el cual está compuesto de tres partes: La frase de inicio o notas introductorias es un conjunto de silbidos generalmente con 1- 4 notas cortas ascendentes, proseguido de la nota 'pre' que generalmente es larga descendente en la escala de frecuencia (las dos primeras partes forman parte del tema) y termina con el trino compuesto por varios elementos continuos de forma progresiva, repetidas rápidamente (Danner 2017; Moseley et al. 2018; Miller and Miller 2015).

Usualmente las hembras no cantan y usan el canto masculino para determinar cantos conspecíficos, los cuales sirven como ornamentos auditivos que refleja variación en calidad y aptitud del macho para el apareamiento (Danner et al., 2012; Grunst et al., 2018; Hill et al., 2017). La preferencia sexual de las hembras influye en la evolución de características de los cantos, esta selección puede contribuir a la variación de dialectos en zonas relativamente cercanas y llevar a un aislamiento reproductivo entre poblaciones (Danner 2017; Danner et al. 2011). La selección sexual funciona como un mecanismo primario que puede variar; las especies poligínicas podrían estar vinculadas a la acelerada evolución de los cantos de *passerines* (Bolus, 2014; Hill et al., 2017), pero no significa que la poliginia está promoviendo la complejidad de cantos en repertorios más elaborados o más grandes, se refiere a la variación de cantos, incluso disminución del número de sílabas y una rápida evolución hacia tamaños moderados de las mismas (Snyder & Creanza, 2019), sin embargo en especies menos poligínicas las características de la complejidad de los cantos tienden a ser más simples (Grunst et al., 2018; Hill et al., 2017).

Los machos tienden a permanecer en ambientes cercanos a los natales. En áreas urbanas los machos eligen aprender cantos que se enmascaran menos con el ruido, es decir cantos de frecuencias altas (Luther & Derryberry, 2012; Moseley et al., 2018). Allí reclaman territorio después de unos 9 meses con un área aproximada de 2000 m<sup>2</sup>, lo defienden cantando y realizando despliegues agresivos (Miller & Miller, 2015). Se ha mostrado que los individuos urbanos con frecuencias más altas en sus cantos tienen mayor éxito reproductivo y mayor tasa de supervivencia (Phillips & Gentry, 2018). Este estudio está enfocado en averiguar si hay diferencias entre poblaciones de *Z. capensis* en áreas urbanas, semi-urbanas y rurales, además de averiguar si siguen este patrón de frecuencias más altas en áreas más antropogénicas.

### Objetivo General

- Caracterizar los cantos de gorriones en la ciudad de Cuenca.

### Objetivos Específicos

- Grabar cantos de machos *Zonotrichia capensis* en varios sitios de la ciudad y sus periferias.
- Medir variaciones de cantos en el espectrograma.
- Comparar la variación de los cantos de individuos y espacialmente.

## 1.1. Marco Teórico

El gorrión *Z. capensis* ha colonizado desde México hasta la Tierra de Fuego, también el Caribe, Santo Domingo, Aruba y Curacao, es decir está distribuido sobre más de 6400km de latitud y 4800km de longitud (Nottebohm & Selander, 1972).

Las aves se han especializado en los sonidos, dado que tienen poco desarrollado el olfato deben transmitir eficientemente sus señales acústicas; el canto es solo uno de los múltiples canales de la comunicación, el cual es bastante eficiente cuando de comunicarse en largas distancias se trata, ya que los cantos de los gorriones machos se puede escuchar hasta 2 km de distancia (Catchpole & Slater, 2008).

Los *Passeriformes*, como el gorrión, son conocidos como pájaros cantores, pues tienen adaptaciones fisiológicas que les permite mostrar complejos y hermosos sonidos, por ejemplo: poseen mayor número y complejidad en los músculos de la siringe (Catchpole & Slater, 2008). Además tienen un complejo sistema neural que permite el aprendizaje de los cantos (Tubaro, et al., 1997). Evolutivamente innovaciones neuromusculares específicas para la producción de cantos permite modificaciones de la frecuencia, amplitud, intensidad y la estructura del canto, resultando en uno de los más complejos y sutiles lenguajes de animales que conocemos (Gil, et al. 2015).

A través del sonido, las señales acústicas y el canto pueden transmitir suficiente información de manera rápida a las hembras, incluso a sus competidores acerca de su salud, estatus social y lugar de nacimiento o dialecto (Catchpole & Slater, 2008; Danner et al., 2012), ya que los cantos son indicadores de tamaño y fuerza, generalmente podría engañar a un depredador haciéndole creer que es un ave más grande (Nottebohm & Selander, 1972). Los cantos y señales acústicas engloban las vocalizaciones que necesitan los gorriones para reconocer a su posible pareja y a los de su especie, así pueden evitar la endogamia, híbridos, enfrentamientos territoriales y pueden actuar sinérgicamente en los despliegues sexuales (Hill, Pawley & Ji, 2017; León, et al., 2014).

En *Z. capensis* no hay un dimorfismo claro, pero se puede distinguir hembras de machos por el plumaje más contrastante en la cabeza y el color castaño más intenso, sin embargo la mayor característica que les diferencia es el canto sexual, el cual es típico en gorriones machos no apareados y juveniles (Catchpole & Slater, 2008; Tubaro et al., 1997).

La función del canto claramente está vinculada a la atracción de las hembras en un área particular, además determina la capacidad de apareamiento en período de reproducción y a través del canto en la distancia se logra una exclusión efectiva de otros individuos machos de su misma especie, ya que actúa como una amenaza que expresa la agresividad masculina en la defensa de territorio por el alcance a los recursos disponibles, en ocasiones es necesario una lucha real en distancias cortas, la defensa del territorio continúa hasta la muerte del individuo (Catchpole & Slater, 2008; Nottebohm, 1969; Tubaro et al., 1997).

El canto también induce a cambios hormonales en la hembra que resultan en ovulación para continuar el ciclo reproductivo (Danner et al., 2012; Nottebohm, 1969; Tubaro et al., 1997). Las hembras solo emiten vocalizaciones de llamados y alertas cuando necesitan, también emiten un trino pre copulatorio que consiste en un trino no claro de ligero volumen (Egli, 1971; Miller & Miller, 2015; Tubaro et al., 1997).

Estas funciones del canto, repulsión masculina y atracción femenina, sugiere que mediante el análisis de la estructura de los cantos se podría identificar información perteneciente a la identidad de la especie, así como rasgos característicos de una población en particular (Nottebohm, 1969; Tubaro et al., 1997). Los rasgos espectrales de cantos divergen dentro de una población y los fenotipos varían en función de su entorno (Catchpole & Slater, 2008; Danner, 2017; Danner et al., 2012).

Los cantos de *Z. capensis* son aprendidos a través de la transmisión cultural, errores durante el proceso de aprendizaje puede desarrollar dialectos regionales rápidamente con rasgos culturales, más rápido que la evolución genética, llamado fenocopia conductual (Danner, 2017; Danner et al., 2012). Los gorriones necesitan un tutor que pueda dirigir la forma de sus cantos y dialectos, generalmente usan un canto modelo para construir su propio y único canto, porque en ausencia de estos desarrollan cantos anormales carentes de notas introductorias o sin trino (Tubaro et al., 1997). La interacción social es indispensable para aprender a cantar, generalmente antes de crear su propia versión es necesario escuchar alrededor de 120 cantos del tutor más cercano, el cual transmite mejor en su entorno (Tubaro et al., 1997). Típicamente los jóvenes aprendices urbanos y semiurbanos producen cantos en frecuencias más altas que su tutor (Moseley et al., 2018).

Los gorriones tropicales cantan todo el año y usan un solo tipo de canto, la mayoría de los machos con territorios cercanos comparten ciertos rasgos similares en sus vocalizaciones (Derryberry,

2014). Pueden cantar espontáneamente y a menudo se produce en largos períodos por las mañanas, paulatinamente irán disminuyendo hasta la puesta de sol (Catchpole & Slater, 2008).

Las poblaciones más templadas pueden interpretar hasta 3 tipos de cantos con diferencias leves (Tubaro et al., 1997). Cuando un macho se ha asentado en su territorio en temporada de cría, cantan menos frecuente, lo cual aumenta la probabilidad que los vecinos de alrededor traten de imitar el tema que fue exitoso, las diferencias son leves, pero nunca iguales (Nottebohm, 1969).

La mediana de vida de los machos de *Z. capensis* es de 2 años (Morton 2002 citado en León et al., 2014), les toma más de 100 días en aprender y definir su propia versión del canto, pero más de 1 año en establecerse en un territorio, porque su canto debería coincidir con ciertos rasgos característicos de los gorriones de la misma área, ya que tienden a permanecer y reproducirse en esa área (León, et al., 2014; Danner et al. 2011; Nottebohm 1969).

Los gorriones son territoriales, pero suelen ocupar áreas relativamente pequeñas de aproximadamente 2000 m<sup>2</sup>, cada territorio debe estar compuesto por lo menos con árboles o arbustos donde puedan perchar. Se piensa que el pequeño territorio solo es usado para anidar y no dependen de estas áreas exclusivas como fuente de alimentación, sino que también tienen áreas extraterritoriales, pues es más eficiente cuidar territorios pequeños (Tubaro et al., 1997).

La formación de bandadas es raro, pero a veces en sitios abiertos como matorrales y pastizales se reúnen hasta 25 individuos para debatir mediante cantos y notas dominantes (Tubaro et al., 1997). Algunas aves cantan miles de veces al día por lo que necesitan estrategias de transmitir eficientemente la información y reducir el costo energético, por ejemplo: usualmente eligen perchar en lugares recurrentes potencialmente más altos para lograr dispersar sus ondas sonoras lo mejor posible (Tubaro et al., 1997) y pasan más tiempo perchados cantando sin tener que desplazarse grandes distancias, lo cual implicaría un mayor gasto energético (Catchpole & Slater, 2008).

A la hora de cantar en cualquier localidad los cantos que ocurren en ella no son representados de igual manera, la variabilidad local del canto del gorrión está influenciado por dos factores: altas densidades de individuos cantando por unidad de área y pequeñas diferencias de hábitat (Nottebohm, 1969). El número de especies que comparten una localidad, determinará la banda ancha para minimizar la confusión interespecífico. Dos localidades dentro de una misma área de dialecto, puede que no tenga temas en común (Gil, et al. 2015), este comportamiento podría estar incidiendo en la divergencia de cantos en áreas poco distantes. Miller & Miller, (2015) construyó un esquema de los territorios de gorriones machos en un área abierta urbana (Anexo 4) que sugiere que entre individuos de la misma población puede variar significativamente el canto con solo 30m de distancia, principalmente en el tema o parte introductoria del canto.

Los cambios en la densidad de la vegetación a lo largo del tiempo debería predecir la dirección en características temporales y espectrales del canto (Derryberry, 2014). Los cantos de *Z. capensis* en los trópicos con altitudes > 1500 msnm y de sitios con vegetación natural abierta suelen tener frecuencias máximas más bajas y frecuencias mínimas más altas, menor longitud de sílabas y anchos de banda más estrechos. Los temas que son más cortos con frecuencias y ancho de banda altas son compensados con un trino más largo (Handford & Loughheed, 1991).

La complejidad de cantos es un importante rasgo de comportamiento acústico sujeto a selección sexual. Los cantos pueden ser medidos usando algunas variables, tales como la diversidad de sílabas, longitud del canto y proporción del trino. La variabilidad se presenta a niveles microgeográficos (Hill et al., 2017) y podría estar relacionado con la diversidad de los trópicos donde coexisten nichos únicos y especies endémicas ligados a determinados rangos altitudinales (Josse et al., 2009). La falta de reconocimiento de dialectos, podría reflejar un componente crítico de aislamiento reproductivo por la preferencia de las hembras y alopatría (Danner et al., 2012).

El canto del gorrión se compone de tres partes, las dos primeras partes determina la identidad del tema cantado y la tercera identifica el área de dialecto al que pertenece. Su estructura consiste de notas introductorias que consta de 1 a 4 notas silabadas, generalmente con una inflexión ascendente; seguido de la segunda parte que consiste en una nota dominante acentuada o prolongada con una inflexión que suele ser descendente, pero también puede ser ascendente o la combinación de ambos, llamado “pre” trino (Miller & Miller, 2015). La parte final está formada por el trino, se caracteriza por presentar elementos repetitivos con frecuencia homogénea y dependiendo de la separación entre sus sucesivas representaciones, el producto final podría ser un rasgo distintivo de una región (Danner et al., 2011; Nottebohm, 1969).

La evolución del tema se pudo haber originado a partir de sonidos de alerta, como un insulto que usualmente se presenta en la frase introductoria, la diversificación de las vocalizaciones y ciertos rasgos en el canto pueden ser características de un sonido de dominancia o advertencia que incide en el tema (Tubaro et al., 1997). La presencia de una sílaba media más vibrante y un trino más largo es consistente en cuerpo, aunque variable en forma (Tubaro et al., 1997). Esto sugiere que el tema y el trino cumplen funciones distintas, las notas introductorias no tienen información muy específica, pero es la parte ornamental del canto (Handford & Loughheed, 1991). La nota ‘pre’ puede contener información acerca de una posible población a la que pertenece y el trino puede llevar información más específica de su localidad (Handford & Loughheed, 1991).

Las sílabas pueden ser simples o complejas en estructura, cuando son complejos se forman a partir de varios bloques de construcción llamados elementos o notas, definido como una línea continua en un sonograma, sin espacios o sin intervalos de tiempo (Catchpole & Slater, 2008). Generalmente un canto dura de 1 a 2 segundos, la frecuencia de sus vocalizaciones están entre 3 y

7 KHz/seg. La estructura del canto puede diferir notablemente entre localidades, sobretodo en la parte introductoria y de un individuo a otro, dando lugar a diferentes temas; pero el trino varía menos entre individuos de una misma localidad independientemente del tema cantado (Nottebohm & Selander, 1972; Tubaro et al., 1997).

La separación temporal entre canto y canto oscila entre 10 y 20 segundos, un macho puede cantar de forma casi continua unos 50 cantos antes de cambiar de actividad, sobretodo en áreas urbanas y semiurbanas (Nottebohm & Selander, 1972; Tubaro et al., 1997). La repetición de los cantos durante el día es una estrategia para defender su territorio, los machos cuyos cantos no transmiten bien son incapaces de mantener territorios (León et al., 2014).

Las hembras tienden a elegir cantos de repertorios grandes de mayor duración, cantos vigorosos de mayor efecto de transmisión que demuestran excelente condición física y en hábitats urbanos menor enmascaramiento (Catchpole & Slater, 2008; Nottebohm & Selander, 1972; Tubaro et al., 1997). En la investigación de Julie Danner et al., (2011) se estudió el potencial de la preferencia femenina hacia el dialecto local que podría actuar como una barrera de reproducción. Encontraron evidencia que *Z. capensis* tiene aislamiento del canto por distancia a una escala más fina que la reportada previamente para cualquier ave, ya que estas poblaciones no son migratorias y como muchas especies residentes pueden tener distancias de dispersión cortas que limitan el intercambio cultural con poblaciones vecinas (Danner, 2017; Gentry et al., 2017). La Cordillera de los Andes se considera una barrera para el intercambio cultural entre poblaciones de ambos lados, incluso montañas, ríos y hábitats fragmentados desempeñan papeles en la divergencia de cantos en un ambiente tropical (Danner, 2017).

El rol de la cultura en la divergencia de poblaciones puede depender de la separación geográfica, como los genes, los rasgos culturales pueden mutar y evolucionar a través de la deriva y selección (Danner et al., 2012). El flujo genético es limitado cuando los individuos no se alejan de su lugar de nacimiento para la reproducción y cuando una especie presenta una amplia distribución en un rango de variables ambientales (Nottebohm & Selander, 1972).

La distancia geográfica es un buen predictor de la divergencia de cantos de una población, es un mecanismo de especiación parapátrica, es decir las distancias entre las poblaciones son continuas, pero con un pequeño flujo genético que podría estar diversificando los rasgos culturales, aunque actualmente no están conduciendo a la especiación (Catchpole & Slater, 2008; Danner et al., 2012). Las distancias largas, factores del medio ambiente y la historia evolutiva dejan una huella que se refleja en las características del canto, formando dialectos (Handford & Loughheed, 1991; Nottebohm, 1969).

La migración probablemente afecta la evolución del canto, porque diferentes migraciones con individuos que llegan más tarde a una población, puede resultar en diferentes etapas de cría y



apareamientos diversos. Esto hace más rápido el aislamiento de metapoblaciones en las que la transmisión de cantos sea un rasgo cultural y genético (Aguilar J. M., 2016).

Las aves deben luchar con señales que interfieren con las suyas, como las señales producidas por factores naturales, como el viento, un río, una cascada, especies simpátricas, además de las señales de origen antrópico, ecos, fluctuaciones de amplitud, entre otros (León et al., 2014). Estas fluctuaciones de estrés acústico, dificultan el desempeño del cantor como el receptor por enmascaramiento auditivo, dando como resultado una disminución de la tasa de reproducción y poniendo en riesgo la estabilidad de la población (León, Beltzer, and Quiroga 2014).

El continuo crecimiento urbano representa una amenaza para la correcta comunicación de las aves y adaptarse a sitios ruidosos constituye un elevado costo energético, sin embargo en el proceso de adaptación los gorriones urbanos encontraron que modificando el comportamiento acústico de partes del canto o completos en cantos cortos, simples o con mayor redundancia de notas, con banda ancha estrecha, mayores intervalos entre notas y generalmente de frecuencias más altas, son características que aumentan la probabilidad de transmitir eficientemente la información en la ciudad a pesar de las variables ambientales (Derryberry et al., 2017; Gentry et al., 2017; Phillips & Gentry, 2018; Slabbekoorn, et al., 2006).

Los entornos ruidosos están caracterizados por presentar frecuencias bajas (KHz), pero de alta energía en la amplitud (dB, KU/s) que puede enmascarar los cantos, es decir valores representados en la forma de onda muestran la presión proporcional del sonido en el micrófono; la intensidad de la contaminación acústica es constante principalmente en carreteras y aeropuertos (Bioacustics, 2014; Charif, Strickman, & Waaack, 2010; Gil et al., 2015).

Los paisajes sonoros pueden variar de una generación a otra, incluso día a día, por lo cual los cantos también varían de una generación a otra, modular los cantos en función de los niveles de ruido se le atribuye a la capacidad de cantar más fuerte cuando el ruido de fondo aumenta, también conocido como hipótesis de la adaptación acústica o flexibilidad inmediata (Gentry et al., 2017; Gil et al., 2015; Slabbekoorn, et al., 2006). Esta adaptación está vocal y taxonómicamente extendido, por ejemplo: las orcas compensan el ruido de los barcos aumentando la amplitud de la llamada, murciélagos ecolocantes ajustan tanto la frecuencia como la amplitud en respuesta a los cambios en niveles de ruido ambiental (Hage, Jiang, Berquist, Feng y Metzner, 2013, citado en Derryberry et al., 2017). Otras especies como *Zonotrichia albicollis* espera cantar hasta que un carro pase y los niveles de ruido disminuyan, maximizando la probabilidad de ser escuchado y así evita el gasto energético innecesariamente (Gentry et al., 2017).

Mantener cantos constantes en sitios con niveles de ruido alto, podría ser perjudicial para el estado físico, por lo que se relaciona positivamente el menor tamaño corporal de gorriones con sitios más ruidosos (Moseley et al., 2018). La estrategia de sobrevivir en distintos hábitats que varían en

calidad de recursos, donde la selección cultural juega un mecanismo de adaptación acústica, se espera que también varíe la diversidad de dialectos de la especie (Graham et al., 2016).

Los dialectos se refiere a las diferencias del canto entre poblaciones vecinas o entre poblaciones de cruces potenciales de individuos que frecuentemente difieren en las características de sus cantos, esto sugiere mayores probabilidades de una divergencia genética (Bolus, 2014). Sin embargo Danner, (2017) explica que la diversidad de cantos no se correlaciona con la variación genética, sino con la evolución o divergencia cultural. Diferencias de dialectos no implica otras formas de forrajeo o forma de conseguir los recursos (Sosa-López et al, 2015; citado en Aguilar, 2016). Los dialectos propios pueden originarse de las modificaciones de los cantos que aprendieron (Tubaro et al., 1997). Existe una correlación entre variación geográfica y la variación de cantos o dialectos, aunque el significado evolutivo de sus diferencias no están claras (Nottebohm 1969). Durante un tiempo prolongado las barreras geográficas o aislamiento alopátrico podrían originar diferenciación en el canto lo suficientemente marcado para originar aislamiento reproductivo y por lo tanto el origen de subespecies (Nottebohm, 1969).

Los dialectos pueden servir para evitar hibridación entre poblaciones, a nivel local la heterogeneidad en los cantos, el número de temas presentes en cualquier localidad es considerablemente menor que el número total de temas que ocurren a lo largo de su zona de dialecto correspondiente (Gil, et al. 2015). Los dialectos de cantos pueden cambiar gradualmente, delimitado por el acervo y flujo genético de una población a un hábitat restringido (Nottebohm, 1969). Las aves que nacen en un área, crecen con una tendencia acústica de los cantos que escuchan alrededor, los machos imitan ese canto cuando son maduros y las hembras serán atraídas selectivamente cuando alcanzan la condición de reproducción (Catchpole & Slater, 2008; Nottebohm & Selander, 1972). Adicionalmente para la deriva y la presión selectiva pueden formar un determinado canto y estas presiones pueden variar alrededor de una población que vive en diferentes ambientes (Morton, 1975, citado en Bolus, 2014).

Los hábitats que son cerrados y tienen mayor densidad de árboles, allí las poblaciones muestran trinos lentos a muy lentos (300-500 ms), poseen temas y trinos más largos con frecuencias máximas más bajas y anchos de banda más estrechos que los hábitats abiertos (Handford and Lougheed 1991), es decir los gorriones de hábitats abiertos con vegetación de baja estatura, tienen cantos más rápidos, de longitud corta, con menor complejidad de notas, ancho de banda y trino más amplios, ya que estos dos tienen correlación a través de frecuencias más altas o cantos de mayor amplitud, como en algunos sitios urbanos y semi-urbanos (Derryberry, 2014). Cuando los individuos varían en capacidad competitiva los dominantes ocupan los mejores hábitats y los menos competitivos se instalan en hábitats marginales, los machos con cantos menos aptos ocupan las áreas abiertas (Handford & Lougheed, 1991; Hill et al., 2017; Tubaro et al., 1997).

# CAPÍTULO 1

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1 Área de estudio

El cantón Cuenca es la capital de la Provincia del Azuay en Ecuador, se encuentra atravesada por los ríos Yanuncay, Tarqui, Tomebamba y Machángara, en el centro sur de la región interandina. Predomina el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo con temperaturas que fluctúa entre 8 - 22°C y una precipitación anual de 500 mm, en un gradiente altitudinal más o menos constante de 2500 msnm (PDOT, 2015).

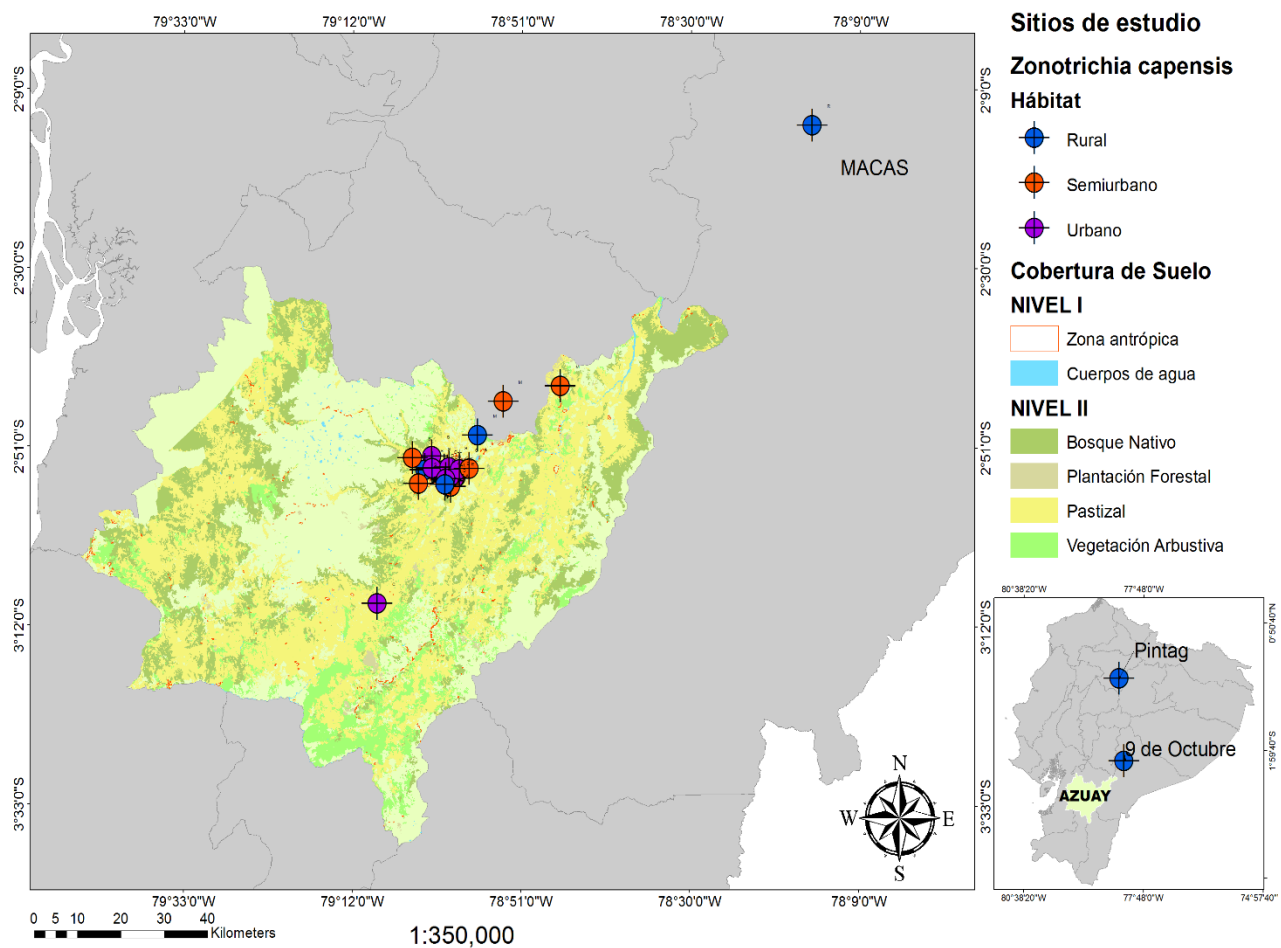


Figura 1. Mapa de la provincia del Azuay y del Ecuador con la ubicación donde se realizó las grabaciones de cantos. Se clasificó por tipo de hábitat; sitios rurales, semiurbanos y urbanos. Fuente: ArcMap 10.5

El estudio se realizó principalmente en la cabecera cantonal de Cuenca que corresponde a la zona urbana o zona antrópica, algunas muestras rurales y semiurbanas se tomaron en las parroquias periféricas. En total son 32 sitios, siendo 16 urbanos, 11 semiurbanos (sitios con parches de vegetación, niveles de ruido bajo, ausencia de edificaciones, pero cerca del casco urbano) y 5 sitios rurales (áreas periféricas de la ciudad con vegetación continua, ausencia de ruido, perteneciente a parroquias rurales). Hay dos sitios rurales lejanos con relación a Cuenca: Pintag cerca a Quito a 2600 msnm y 9 de Octubre cerca de la ciudad de Macas a 1600 msnm, el cual es un sitio peculiar por encontrarse en el lado oriental de la cordillera de los Andes y rodeado de densa vegetación montana. Los demás sitios están sobre la región Interandina (Figura 1, 2).

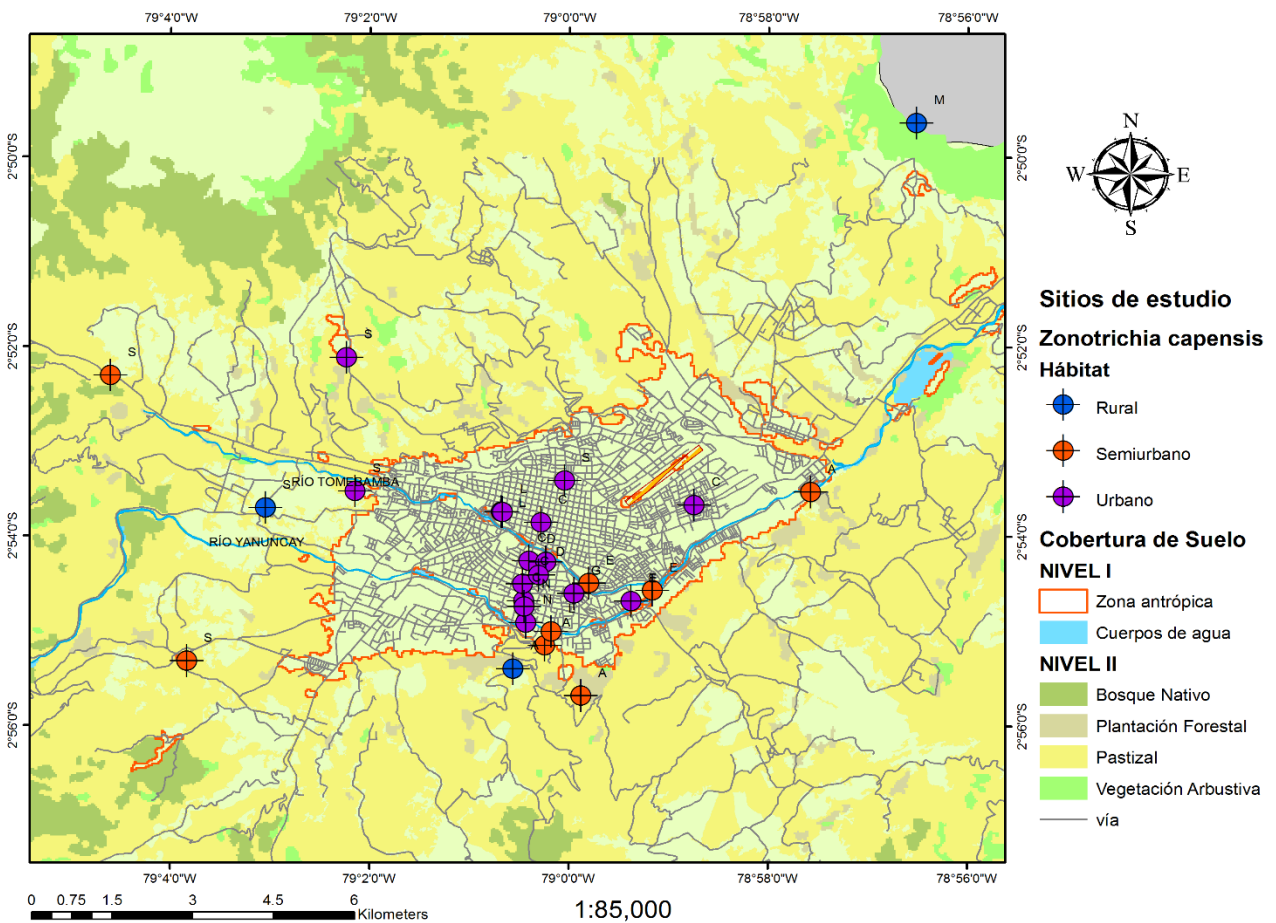


Figura 2. Mapa del cantón Cuenca con la ubicación de los cantos obtenidos. Incluye varios sitios en parques, avenidas y periferias de la ciudad. Fuente: ArcMap 10.5

## 1.2. Grabaciones de los cantos

Se grabó los cantos de gorriones machos entre mayo 2018 y febrero 2019 durante la actividad natural de las aves, entre las 6h:00 y 18h:00 en varios sitios de la ciudad de Cuenca, sus periferias, además en los sitios distantes: Pintag y 9 de Octubre.

Las grabaciones oscilan en duración entre 1 a 5min, en los cuales pueden existir varios gorriones cantando en grupo o solo cantos individuales. Cada minuto de grabación corresponde a unos 10 Mb de tamaño, para considerar el espacio de la memoria del dispositivo de grabación.

Se usó una grabadora Olympus LS-14 PCM 2 Gb y un micrófono SENNHEISER MKE 400 direccional monoestéreo. Las grabaciones se realizaron a distancias entre 3 y 15 m del gorrion emisor en formato de audio digital WAV (sin compresión de datos y concisa frecuencia de muestreo). Para minimizar cualquier efecto potencial del hábitat sobre los cantos, todas las grabaciones fueron realizadas en hábitats abiertos, incluso en los sitios rurales se grabó sobre caminos de tierra, pastizales y áreas abiertas en general.

## 1.3. Análisis de Datos (cantos)

En *Zonotrichia capensis* el trino tiende a ser temporalmente estable y altamente inmutable a diferencia de las notas introductorias, generalmente es usado para designar geográficamente dialectos de cantos (Danner et al., 2012; Nottebohm, 1969).

En esta investigación se logró grabar múltiples cantos, se seleccionó 4 cantos de cada individuo que mejor se representó en el espectrograma o los de mayor calidad, es decir cantos con menor ruido de fondo y que fueron grabados a menor distancia de cada emisor, lo cual nos permite identificar con más claridad las diferentes “firmas”.

Para un mejor análisis acústico se consideró los cantos enteros, se evitó los cantos incompletos y se analizó cada parte individual de la estructura del canto; es decir el tema (notas introductorias + pre), el trino y full (Figura 3; Anexo 1). Todos los datos de audio fueron medidos mediante el análisis acústico en el espectrograma del software Raven Pro 1.5 Cornell Laboratory of Ornithology (Bioacustics, 2014; Charif et al., 2010). Esta es una herramienta que permite la visualización, medición y análisis de sonidos o señales acústicas muy versátil. Las mediciones se hicieron en sentido izquierda a derecha, sobre el tema, trino y el canto entero ‘full’; el trino es fácilmente identificable porque está compuesto de sílabas repetitivas al final del canto (Figura 3).

Debido a la alta variabilidad entre sitios, los análisis sobre cantos enteros y el trino generalmente han sido realizados para identificar dialectos en una localidad y para comparación con otros

estudios, en esta investigación la medición de la estructura de los cantos serán las más importantes para identificar dialectos (Gentry et al., 2017).

Se analizó varios aspectos de las características acústicas de los cantos (Tabla 1). Para disminuir la subjetividad de las medidas espectrales se usó la herramienta PFC (Peak Frequency Contour Min, Max) y el Peak Frequency Contour Number of Inflection Points, que es el número de veces que una nota cambia de forma. Esta herramienta permite ser más precisos al momento de graficar los picos de energía de los cantos. Para la visualización y edición de los cantos se usó el espectrograma únicamente y se anuló la ventana de la forma de la onda, porque las notas de los cantos son fácilmente identificables y esta vista enmascara las ondas producto del ruido con las ondas emitidas en los cantos (Anexo 1). La duración de los cantos fue calculada por la diferencia entre Begin\_Time y End\_Time; las demás variables fueron calculadas por Raven, después de delimitar manualmente cada nota y elemento del canto que se visualiza en el espectrograma para finalmente hacer una selección general “full” (Figura 3; Tabla 1).

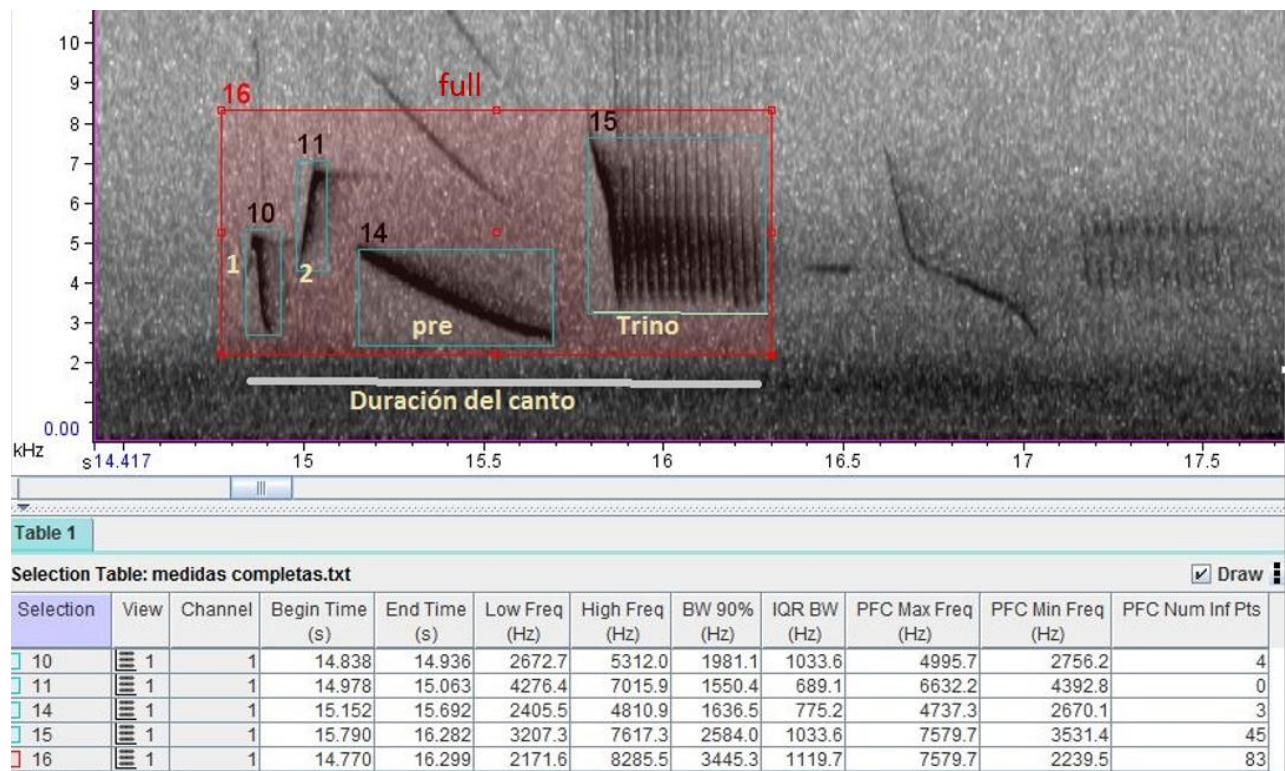


Figura 3. Espectrograma de Raven Pro 1.5. Representa la medición de variables usadas en este estudio para evaluar la complejidad de cantos, se midió las notas introductorias del tema (1, 2, pre), trino y la medición completa (full). Las medidas de cada elemento obtenidas de las variables se muestran en 'Table 1'.

Tabla 1. Definición de medidas utilizadas en la caracterización de los cantos de *Zonotrichia capensis* (Derryberry, 2014; Hill et al., 2017; Moseley et al., 2018).

Medidas	Definición	Unidades
Pico de frecuencia	Frecuencia con el poder más alto	Hz
Duración de notas	Longitud de la vocalización el cual contiene 90% de la energía	s
Duración del canto	Diferencia entre Begin_Time y End_Time	s
Duración inter-notas	El tiempo entre cada nota o el rango de silencio	s
Pico de frecuencia mínima PFC	La frecuencia más baja trazada por la herramienta PFC	Hz
Pico de frecuencia máxima PFC	La frecuencia más alta trazada por la herramienta PFC	Hz
Banda ancha	La diferencia entre frecuencia máxima y frecuencia mínima 90%	Hz
Tema	Longitud de notas introductorias, entre 1 a 4, incluido el elemento “pre”	#
Trino	La longitud y proporción del canto que contiene pequeñas notas consecutivas	s

#### 1.4. Análisis Estadísticos

Se clasificó los datos por: Individuos, 4 muestras por cada uno; se diferencié y separé la estructura de los cantos en notas: 1, 2, 3, pre y trino. Con cada parte se midió las variables: Duración del canto, PFC\_Max\_Freq, PFC\_Min\_Freq, PFC\_Num\_Inf\_Pts, BandWidth 90%, IQR BandWidth, Low Freq, High Freq, Long\_tema y Long\_trino (Tabla 1), adicionalmente el análisis completo (full). Por número de individuos se asoció información extra: Nombre\_localidad, Zona, mE, mS, nivel de Ruido\_antropogénico (alto, medio, bajo). Se agrupó los cantos en poblaciones en función de la cercanía geográfica y por el tipo de Hábitat (urbano, semi-urbano, rural) para determinar cómo las variables locales están influenciando en la variación de cantos.

Se realizó la prueba de variación de los elementos del canto mediante el test de independencia con Chi cuadrado porque es probable que las características de los cantos están asociados a variables ambientales que influyen en el comportamiento acústico entre poblaciones. Se usó la función `chisq.test()` del paquete básico de R 3.6.1 (Oksanen et al., 2019) para determinar cómo se relaciona el número de notas y las variables ambientales (Legendre & Gallagher, 2001).

Se usó la prueba de correlación de variables, mediante la función “`corrplot`” (Wei & Simko, 2017) para determinar las variables menos correlacionadas y utilizar en la caracterización de cantos mediante NMDS (Figura 6). Para la ordenación utilizamos `Vegan 2.5-6` (Oksanen et al., 2019), se filtró medidas de: PFC\_Max\_Freq, PFC\_Min\_Freq, PFC\_Num\_Inf\_Pts, BW\_90% y el IQR\_BW; se excluyeron las demás variables por presentar correlación con otras variables. Se usó la función

vegdist (Dissimilarity Indices for Community Ecologists) (Oksanen et al., 2019) para calcular índices de disimilitud entre las poblaciones de cantos y las dispersiones multivariadas.

La prueba de variación de los elementos de los cantos “corrplot” mostró que las notas introductorias del tema, debido al diferente número de notas no se podían comparar directamente, entonces fueron omitidos. Por lo tanto se filtró y seleccionó los elementos: pre, trino, full y se omitió las notas introductorias 1, 2, 3. Con las variables seleccionadas se realizó un PCoA y NMDS para visualizar la variación espacial de los cantos mediante Vegan 2.5-6 (2019) en R 3.6.1 (Oksanen et al., 2019; “NMDS Tutorial in R – sample (ECOLOGY),” n.d.).

Dentro de las técnicas de ordenación, está el análisis de coordenadas principales (PCoA , Principal Coordinate Analysis). Este método ayuda a obtener una ordenación en un número pequeño de dimensiones mediante una matriz de disimilitudes entre un conjunto de individuos, en este caso se representó en un gráfico de 2 dimensiones, donde se conserva las distancias originales en la ordenación espacial (Legendre & Gallagher, 2001). Se usó el análisis del PCoA porque puede realizar comparaciones de presencia o ausencia de caracteres específicos entre las matrices de correlación distancias Euclidianas o diferencias de los cantos en un espacio de ordenación, de modo que las distancias entre los puntos estén cerca de las similitudes originales, asociado a las diferencias de los cantos entre las variables de los sitios (Fernández, 2019; McCune, B., J. B., & L, 2002).

El NMDS se considera el método de ordenación no forzado, no métrico, más sólido en ecología comunitaria (Oksanen et al., 2019). Por eso la ordenación NMDS se usó para comparar descripciones univariadas de una población a otra. Es adecuado para ordenar espacialmente los datos mediante una matriz de distancias asignado a cada individuo una ubicación espacial (Oksanen et al., 2019). La función metaMDS realiza el cálculo escalado multidimensional no métrico (NMDS), esta herramienta se basa en el análisis de múltiples dimensiones para explorar y visualizar similitudes o diferencias de los cantos. Se espera obtener los plots de los cantos en función de las variables medidas, las cuales fueron unidas con datos por individuos con coordenadas geográficas y medidas propias de cada canto como: longitud del canto, nivel de ruido y tipo de hábitat.

Dentro de Vegan 2.5-6 (Oksanen et al., 2019) se usó la función “envfit” ( Fits an environmental vector or factor onto an ordination), se comparó los cantos individualmente y espacialmente para probar la relación de la ordenación con respecto a las variables ambientales (mE, mS, Nombre localidad, Población, Long tema, Nro elementos, BW 90, Long canto, Long trino, F min, F max, Ruido antropogénico, Hábitat). Se usó esta función porque ajusta vectores a dichas variables como el ruido antrópico o el tipo de hábitat; los factores muestran los promedios de los niveles de los componentes (Oksanen et al., 2019). Se analizó la prueba de la bondad de ajuste estadístico de



envfit, este es el coeficiente de correlación al cuadrado ( $r^2$ ), el cual es usado para saber cómo se correlacionan los cantos y explicar la variación de los resultados al comparar la distribución observada a una probabilidad de distribución esperada, donde tenemos 3 clases o categorías: población, hábitat y ruido antrópico.

Se realizó la prueba del análisis de varianza (ANOVA) no paramétrico para determinar si cada medición de la estructura de los cantos (pre, trino, full) difieren significativamente entre los sitios. Es un diseño de ANOVA unidireccional; todas las medidas del tema, trino y la suma de ambas variaron con una distribución no normal. Para probar las diferencias en la varianza entre las estructura de los cantos se usó la prueba de homogeneidad multivariante de dispersiones mediante la función “betadisper” que mide la distancia euclidiana de cada individuo al centroide del grupo. Y mediante el valor F se evaluó que tan dispersos están los datos de los cantos con respecto a la media, es decir su importancia estadística (Anderson, 2006). También se realizó el ANOVA por hábitat entre las principales variables de la estructura del canto, se aplicó la corrección de Bonferroni para nuestra alpha, como se hizo 6 variables por tres medidas (pre, trino, full ) = 18 pruebas; nuestro alpha es  $0.05/18 = 0.0027$ .

Aunque los datos sean significativos y pueda comprobarse la variación de cantos de los individuos de cada sitio, es necesario realizar una prueba Post Hoc para averiguar que medias difieren y cuales variables son significativas utilizando un método de comparación múltiple (diferencia significativa honesta de Tukey), por lo tanto se usó la función Tukey HSD (Anderson, 2006). Mediante esta función se crea un conjunto de intervalos de confianza sobre las diferencias de distancia media entre los grupos hacia los centroides y los niveles de factores agrupados con la probabilidad de cobertura específica de sitios individuales. Los intervalos de confianza simultáneos de cada grupo no son significativos al incluir el cero, solo las diferencias de las medias que estén lejos del cero son significativos (Anderson, 2006).

## CAPÍTULO 2

### RESULTADOS

Se obtuvo grabaciones de 82 machos de *Zonotrichia capensis* en distintos sitios urbanos, semi-urbanos y rurales de la ciudad de Cuenca y sus periferias, adicionalmente en sitios rurales como Pintag y 9 de Octubre (Figura 4). Los diversos rasgos de los cantos fueron diferenciados en el espectrograma, donde se encontró que corresponden a individuos evidentemente diferenciados, como una firma única de cada gorrión (Figura 4; Anexo 1).

Después del análisis acústico de cada elemento por separado, se halló que todos los cantos varían en su estructura en distancias relativamente cortas con diferencias a nivel individual o intra-poblacional, pero mayor variación inter-poblacional. Características medidas como la forma, duración, frecuencia máxima, banda ancha y número de notas de las estructuras del canto revelaron diferencias significativas por tipo de hábitat (Figura 4, 5; Tabla 2).

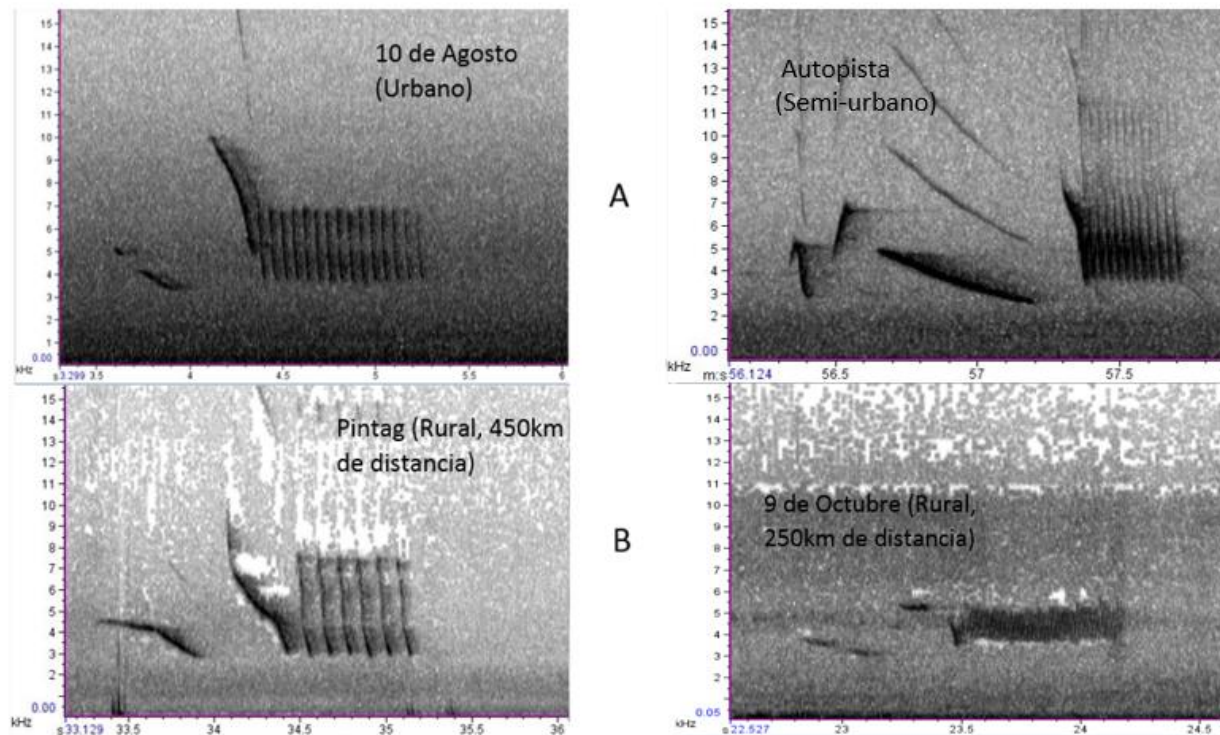


Figura 4. Cuatro cantos de *Zonotrichia capensis*. En el lado A, se encuentran cantos característicos de hábitats Urbanos y Semi-urbanos, presentan el PFC máximo entre 7.5 y 10 KHz. En el lado B, se encuentran cantos característicos de hábitats rurales con ausencia de ruido antropogénico, generalmente el PFC máximo oscila entre 5 y 7.5 KHz.

## Características cualitativas de la estructura del canto

La mayor variación se encontró en las notas introductorias del canto que varían de 1 a 4 notas entre cada tipo de hábitat; de las cuales la última nota del tema tiende a ser de mayor duración y con menor variabilidad, generalmente de forma descendente llamada ‘pre’ (Anexo 1, 2). Sin embargo en los sitios rurales la nota pre tiende a ser de menor longitud respecto a los otros hábitats (Figura 7).

El trino presenta mayor longitud en el hábitat urbano respecto del hábitat semi-urbano y rural, sin embargo la banda ancha es mayor en los individuos semi-urbanos y menor en los sitios rurales (Tabla 2). Los cantos varían en el número de notas y elementos en su estructura, temas de 1 nota representan el 5%, de 2 notas: 59.5%, 3 notas: 31,5% y de 4 notas: el 4% (Figura 5; Tabla 2).

Los individuos rurales presentan mayor longitud del canto y mayor número de notas en sus repertorios, compuestos generalmente por 3 notas (moda); en cambio los individuos urbanos y semiurbanos se caracterizan por presentar 2 notas habitualmente (Figura 5; Tabla 2). En general la variación de los cantos de hábitats urbanos presenta picos de frecuencia máxima y mínima más alto que semi-urbano y rural (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen estadístico de 7 variables de cantos de *Zonotrichia capensis* grabadas separadamente por hábitat.

Variable	Urbano		Semi-urbano		Rural	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Banda ancha (Hz)	2690.63	648.87	2830.51	540.37	2497.81	728.13
PFC Min (Hz)	2899.77	397.75	2640.22	301.35	2482.18	332.18
PFC Max (Hz)	7406.33	841.30	7359.54	641.60	7150.71	1145.39
Longitud del canto (s)	1.58	0.24	1.60	0.26	1.69	0.24
Nro de notas del tema (moda)	2	-	2	-	3	-
Longitud del tema (s)	0.83	0.19	0.86	0.23	0.87	0.15
Longitud del trino (s)	0.69	0.23	0.64	0.16	0.63	0.19

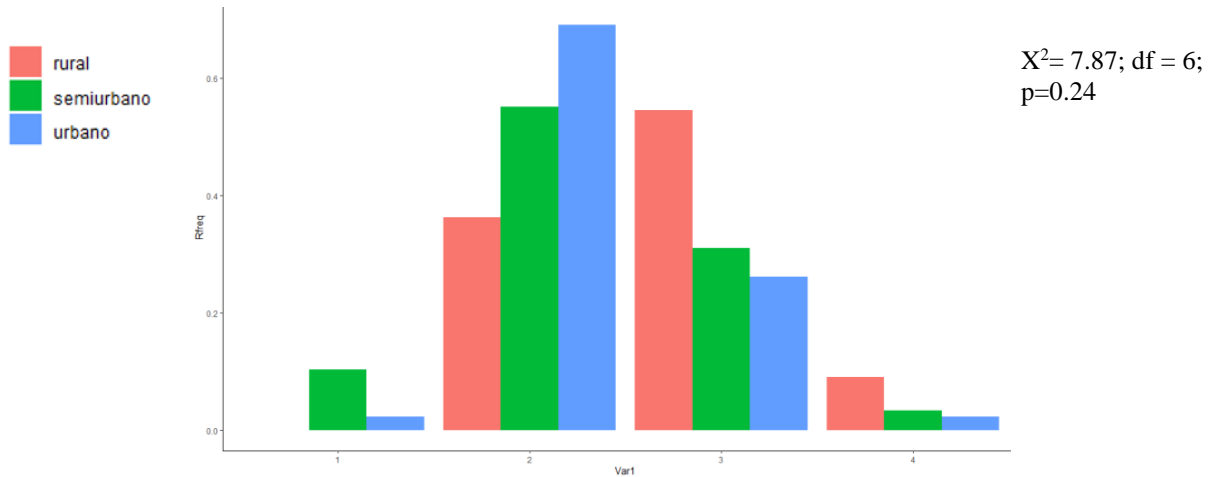


Figura 5. Pearson's Chi-squared test. Relación entre el hábitat y el número de notas.

Debido a la dificultad de comparar estos elementos variables nos concentramos en elementos homólogos que aparecen en todos los cantos, por lo tanto se trabajó con las medidas de la nota pre en representación de las notas introductorias, también el trino y las medidas del canto completo full (Figura 6).

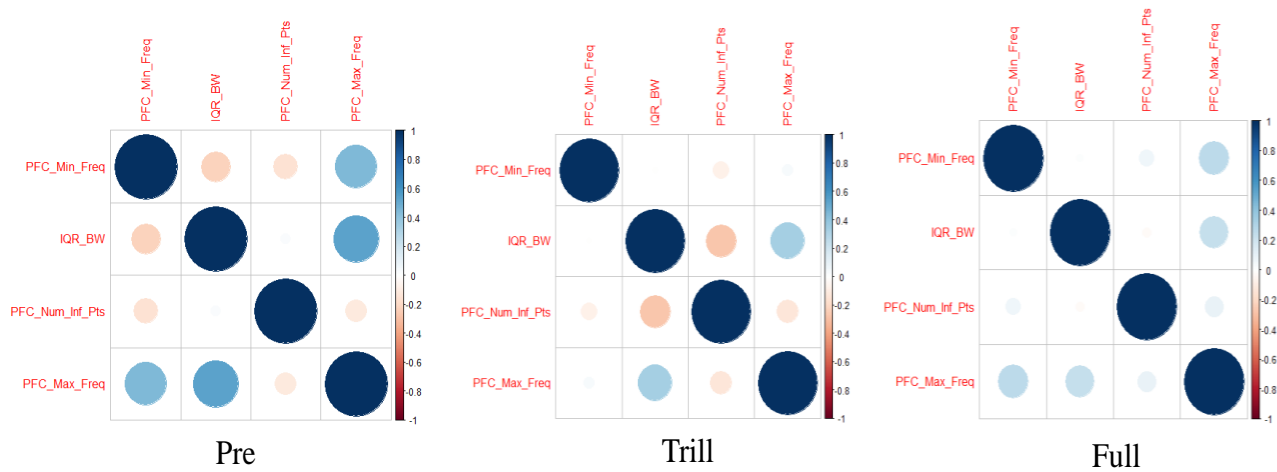


Figura 6. Correlación de las variables: PFC mínima, PFC máxima, PFC número de puntos de inflexión y el IQR banda ancha. Las correlaciones positivas se muestran en azul y las negativas en rojo, la intensidad del color y el tamaño del círculo son proporcionales a los coeficientes de correlación (Wei & Simko, 2017).

En base a los datos que reveló el NMDS se obtuvo una ordenación de los cantos (plots) en función de sus variables medidas. Se trabajó la ordenación con las características estructurales del canto seleccionadas (pre, trino y full) entre una población y otra (Figura 7, 8 y 9).

La bondad de ajuste de envfit ( $r^2$ ) probó la relación de la ordenación respecto a las variables ambientales y mostró relaciones significativas en la variación de los cantos excepto por 'ruido antrópico' en el trino, sin embargo la variación explicada es baja con menos del 1% de probabilidad

(Tabla 3). La relación de la variación de cantos por ‘población’ explica de forma más significativa las variables medidas en pre, trino y en las medidas completas full, entre el 15 y 20% respectivamente. El  $r^2$  del hábitat sugiere que no está influenciando fuertemente en la nota pre, pero aún son relaciones significativas principalmente en el trino y full (Tabla 3).

Tabla 3. Resumen bondad de ajuste de “envfit” muestra la correlación máxima de variables ambientales (clases) con la estructura de los cantos: pre, trino y full.

Clases	Bondad de ajuste:					
	Pre		trino		full (completo)	
	$r^2$	P	$r^2$	P	$r^2$	P
Población	0.1559	<0.001	0.1460	<0.001	0.2067	< 0.001
Ruido_antrópico	0.0575	<0.001	0.0118	<0.186	0.0596	< 0.001
Hábitat	0.0339	<0.001	0.0535	<0.001	0.0458	< 0.001

Se puede ver como la población R (rural) se diferencia de las otras poblaciones urbanas y semi-urbanas por tener elementos ‘pre’ más cortos (Figura 7). La distancia promedio de los demás grupos al centroide de los respectivos sitios no difiere significativamente entre los sitios urbanos ni semi-urbanos, sugiriendo que cada sitio tiene una menor variación en los cantos en poblaciones relativamente cercanas, exceptuando la población R perteneciente a 9 de Octubre (Figura 7).

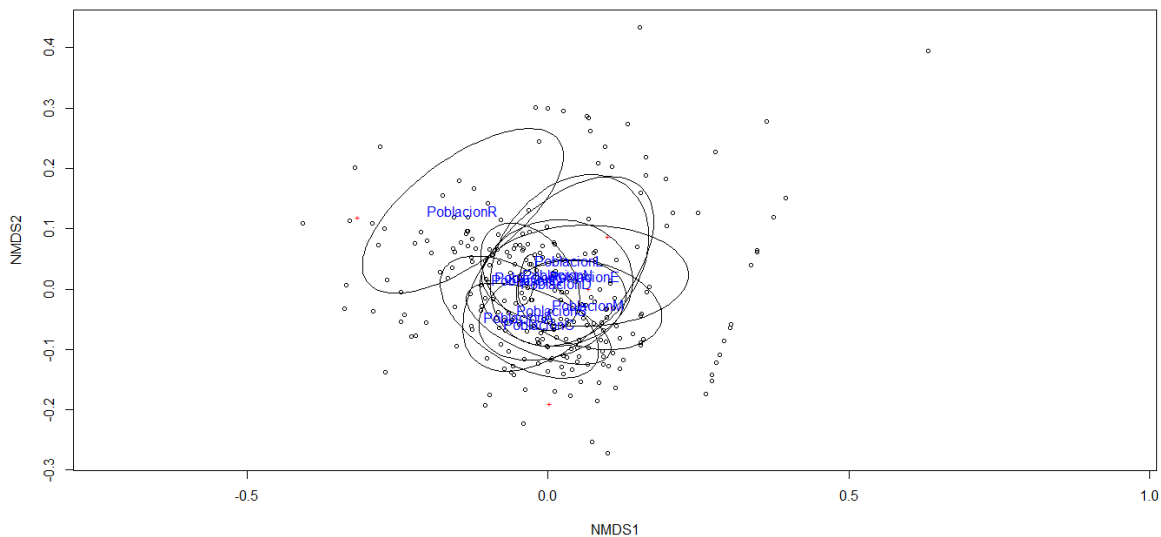


Figura 7. Diagrama de Ordenación de escalas multidimensionales no métricas (NMDS) del elemento ‘pre’ (la nota antes del trino). Los pequeños círculos representan las muestras de los cantos distribuidos espacialmente en función de las variables medidas: PFC\_Max\_Freq, PFC\_Min\_Freq, PFC\_Num\_Inf\_Pts, IQR\_BW, las cuales están representados por las cruces rojas.

Las diferencias más trascendentes nos reveló el trino, ya que hay menor variación entre individuos cercanos y la variación aumenta con la distancia y tipo de hábitat (Figura 8).

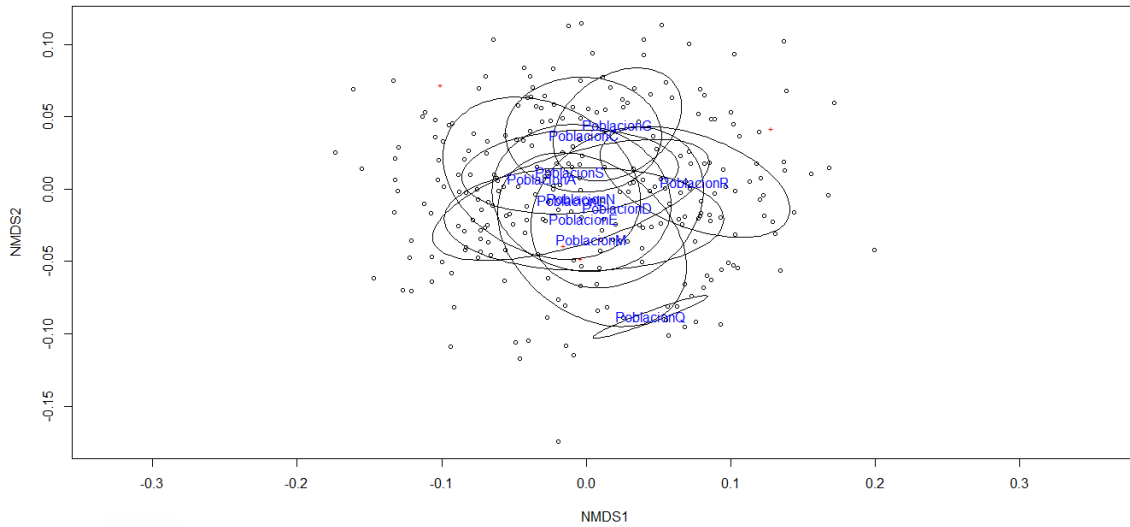


Figura 8. Diagrama de Ordenación de escalas multidimensionales no métricas (NMDS) del 'trino'. El trino exhibe variación en distancias más grandes, muestra una diferencia significativa de la media de las poblaciones Rurales: R (9 de Oct) rodeado de vegetación densa y Q (Pintag) rodeado de vegetación arbustiva y de pastizales, separados por más de 450km, pero ambos tienen en común la longitud de trino más largo y de banda ancha más estrecha que las otras poblaciones.

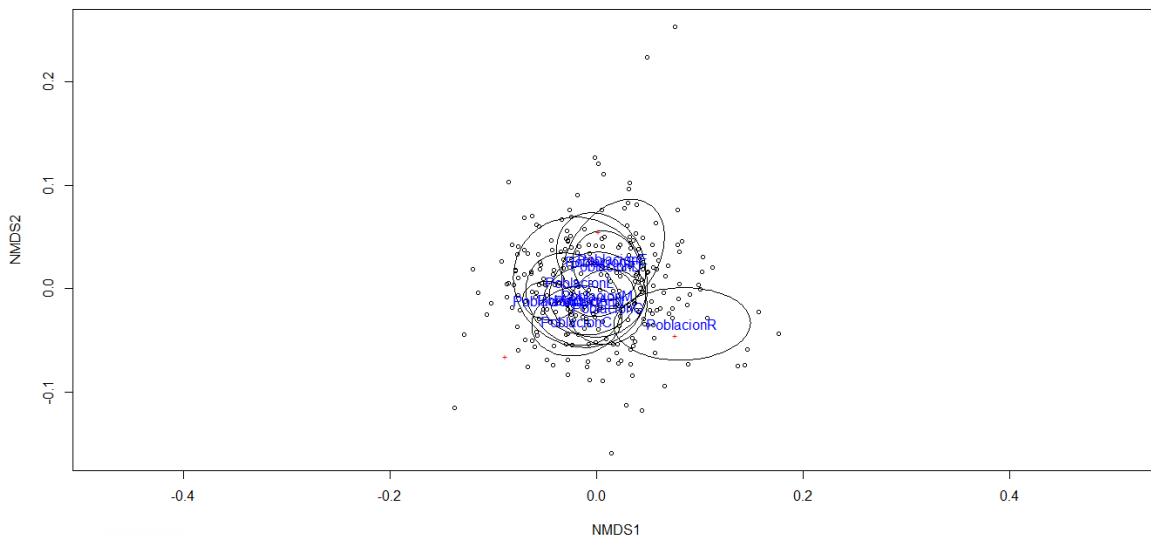


Figura 9. Diagrama de Ordenación de escalas multidimensionales no métricas (NMDS) del conjunto de cada uno de las estructuras de los cantos o análisis completo 'full'. Los pequeños círculos representan las muestras de los cantos distribuidos espacialmente en función de las medidas utilizadas: PFC\_Max\_Freq, PFC\_Min\_Freq, PFC\_Num\_Inf\_Pts, IQR\_BW, las cuales se representan en las cruces rojas. Los datos fueron unidos por Individuos con coordenadas geográficas y medidas propias como longitud del canto, nivel de ruido y tipo de hábitat. Se muestra variación entre poblaciones, siendo significativa la diferencia con la población R (9 de Oct) que presenta la longitud del canto mayor que las demás poblaciones.

El análisis de varianza del elemento 'pre' demuestra valores significantes, pero no explica fuertemente como se relacionan las poblaciones; indicando que hay mayor relación dentro de una población que entre poblaciones. Se puede determinar que las diferencias de las medias de los grupos sugieren que hay mayor relación entre poblaciones cercanas que con las poblaciones lejanas (Tabla 4).

El análisis de varianza del ‘trino’ es significativo, todas las medidas explican la variación entre poblaciones, principalmente la banda ancha, longitud y frecuencia máxima; estas fueron significativamente diferentes relacionado a la distancia, es decir las diferencias entre poblaciones se incrementan con la distancia y con el tipo de hábitat.

El valor P del análisis completo ‘full’ es significativo y demuestra que no hay igualdad de medias entre los grupos, se concluye que hay diferencias significativas entre los individuos de cada sitio. Lo cual sugiere que usar los datos en conjunto o medidas enteras, puede ayudar a comprender la variación de dialectos en distancias microgeográficas y se corrobora que hay mayor diferencias a nivel inter-poblacional que intra-poblacional (Tabla 4).

Tabla 4. Resumen del análisis de varianza de notas pre, trino y completo (full).

Tabla de Análisis de Varianza					
pre					
Respuesta:	Distancia				
Categorías	GL	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	Valor F	Valor P
Grupos	10	0.08060	0.0080602	2.1195	0.0235
Residual	253	0.96215	0.0038030		
trino					
Respuesta:	Distancia				
Categorías	GL	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	Valor F	Valor P
Grupos	10	0.027835	0.00278348	5.322	< <b>0.001</b>
Residual	253	0.132323	0.00052302		
full					
Respuesta:	Distancia				
Categorías	GL	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	Valor F	Valor P
Grupos	10	0.031803	0.0031803	4.9422	< 0.001***
Residual	253	0.162162	0.0006435		

Aplicamos la corrección de Bonferroni para nuestro alpha, dado que se hizo 18 pruebas, nuestro alpha es  $0.05/18 = 0.0027$ . Por lo tanto el análisis de varianza por hábitat en la nota ‘pre’, es significativo en: Las medidas longitud del canto, siendo los individuos semiurbanos los de mayor longitud. El pico de frecuencia mínima y el pico de frecuencia máxima presenta diferencias importantes con los valores más altos en el hábitat urbano (Figura 10). La banda ancha, el cuartil de banda ancha y el número de inflexiones no presentan diferencias significativas (Figura 10).

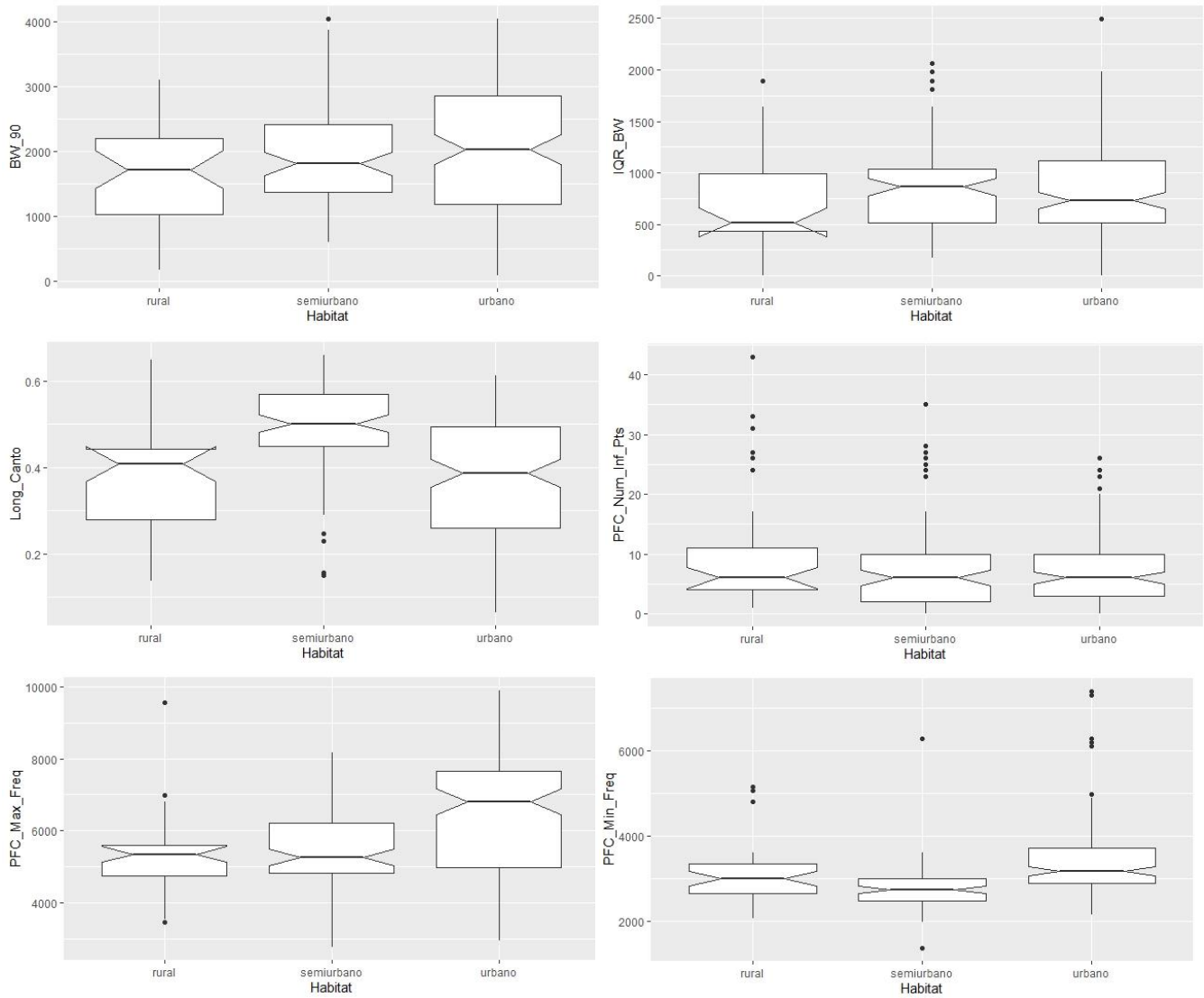


Figura 10. Boxplot notch del ANOVA por hábitat de la nota 'pre' en rangos de Hz y para la longitud en (s).



La prueba ANOVA por hábitat en el trino es significativo en las medidas de la longitud de canto, pero muy significativo en el pico de frecuencia máxima, la banda ancha y el rango inter cuartil de la banda ancha. Estas variables presentan características similares, pues el hábitat semiurbano tiene la media con valores más altos que el hábitat urbano, las poblaciones rurales presentan las frecuencias más bajas. Los cantos urbanos presentan ligeramente mayor longitud del trino y los cantos rurales presentan levemente mayor número de puntos de inflexión. El pico de frecuencia mínima y el número de inflexiones no influye en el trino (Figura 11).

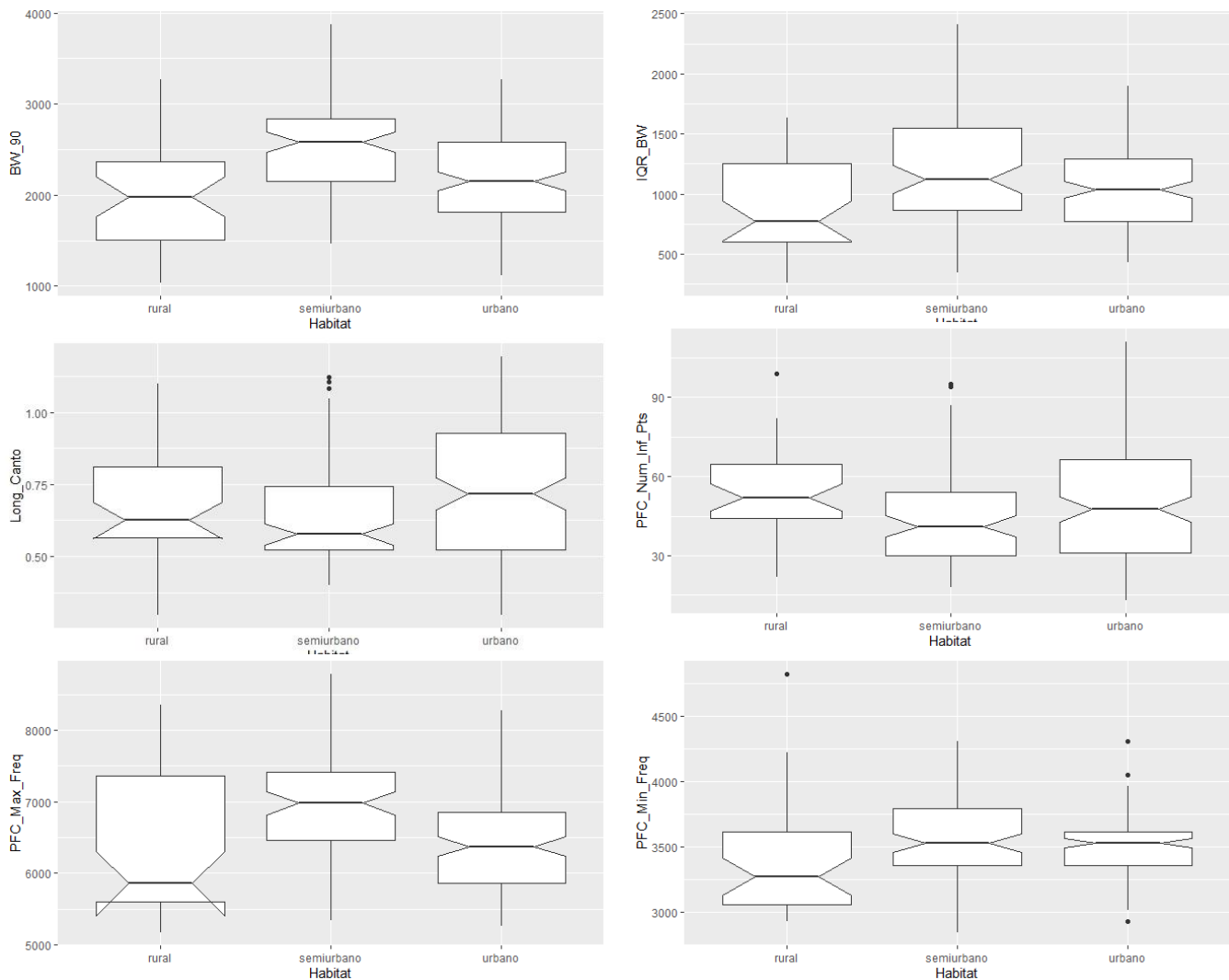


Figura 11. Boxplot notch del ANOVA por hábitat del 'trino' en rangos de Hz y para la longitud en (s).

El ANOVA por hábitat de las medidas full son significativas en la banda ancha, siendo el hábitat rural que presenta menor frecuencia en la banda ancha; el pico de frecuencia máxima es menor en los rurales; el pico de puntos de inflexión es mayor en el hábitat rural (Figura 12).

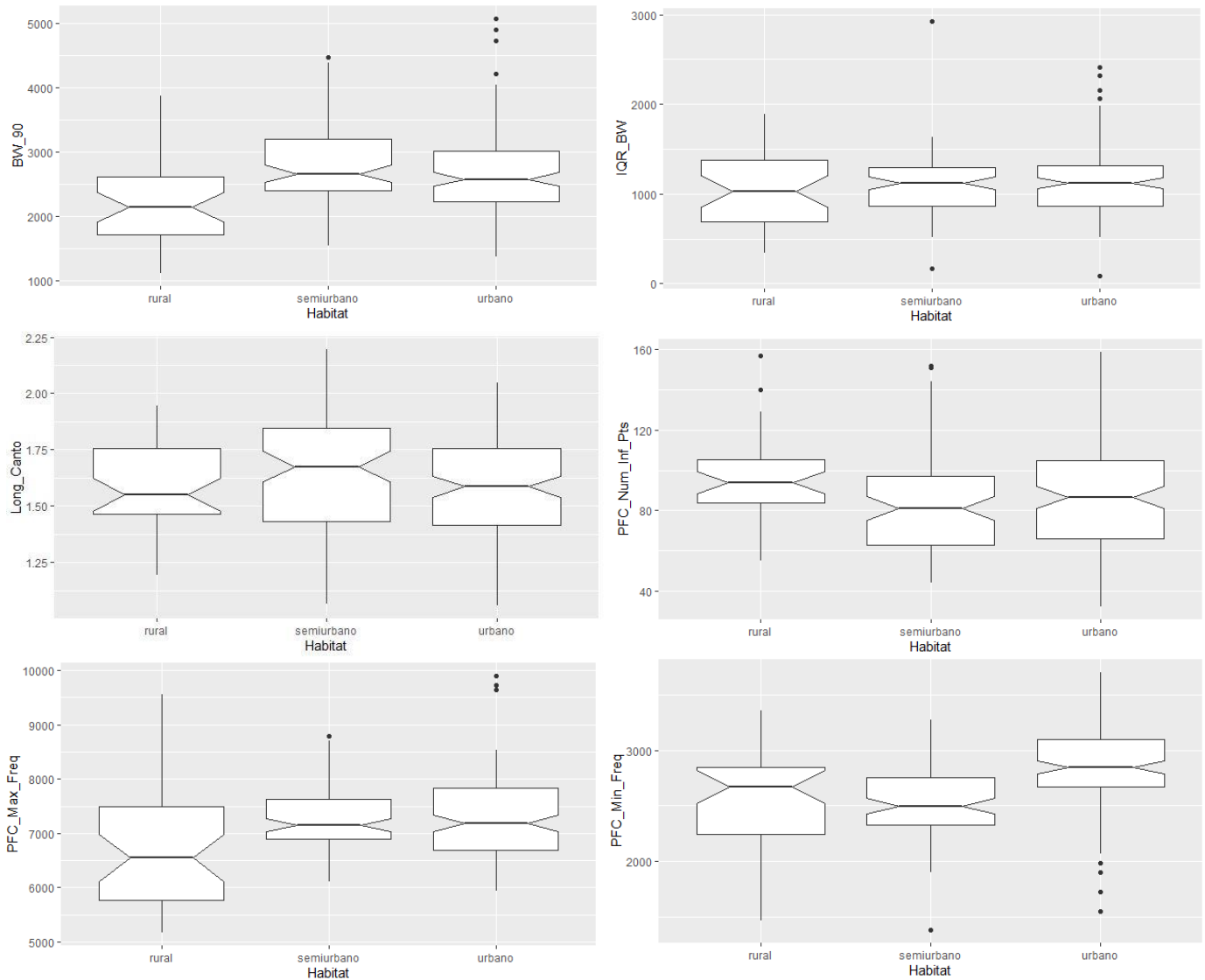


Figura 12. Boxplot notch del ANOVA por hábitat de las medidas completas 'full' en rangos de Hz y para la longitud en (s).

Prueba Tukey: Las diferencias poblacionales son significativas para la nota pre entre hábitats urbano y rural, principalmente la variación se presenta en los picos de frecuencia máxima, mínima y en la longitud de canto (Tabla 5).

En el caso del trino es muy significativo las diferencias entre los hábitats semiurbano y rural por variación en la banda ancha y el rango inter cuartil. También se encontró significancia en las diferencias entre urbano y semiurbano con la longitud del canto y el pico de frecuencia máxima (Tabla 5).

En las medidas generales full se encontró significancia en la banda ancha, picos de frecuencia máxima y mínima, esencialmente entre los hábitats urbano y rural, pero también hay diferencias entre semiurbano y rural en el pico del número de puntos de inflexión (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba Tukey del ANOVA por hábitat de las variables más significativas de las estructuras del canto analizadas

Pre					
	diff	lwr	upr	p adj	
Long_Canto	semiurbano-rural	0.117590896	0.05651872	0.17866307	0.0000257
	urbano-semiurbano	-0.126094101	-0.16945443	-0.08273378	0.0000000
	diff	lwr	upr	p adj	
PFC_Min_Frec	urbano-rural	509.5729	95.01024	924.1356	0.0113438
	urbano-semiurbano	779.5542	468.38280	1090.7257	0.0000000
	diff	lwr	upr	p adj	
PFC_Max_Frec	urbano-rural	974.3608	402.3727	1546.3490	0.0002286
	urbano-semiurbano	922.2487	492.9134	1351.5840	0.0000023
Trino					
	diff	lwr	upr	p adj	
Long_Canto	urbano-semiurbano	0.08957014	0.02334181	0.15579848	0.0045675
	diff	lwr	upr	p adj	
PFC_Min_Frec	semiurbano-rural	158.25370	27.37907	289.12834	0.0130513
	urbano-semiurbano	532.010228	179.6607	884.3597	0.0012813
	diff	lwr	upr	p adj	
PFC_Max_Frec	semiurbano-rural	532.010228	179.6607	884.3597	0.0012813
	urbano-semiurbano	-523.446728	-773.6096	-273.2839	0.0000043
	diff	lwr	upr	p adj	
BW_90	semiurbano-rural	472.7449	236.35721	709.1327	0.0000118
	urbano-semiurbano	-299.7221	-467.55387	-131.8904	0.0001042
	diff	lwr	upr	p adj	
IQR_BW	semiurbano-rural	299.2478	116.363943	482.131649	0.0004240
	urbano-rural	174.6201	1.632544	347.607727	0.0472963

Full						
	diff	lwr	upr	p adj		
PFC_Min_Frec	urbano-rural	321.54033	152.5539	490.5267	0.0000325	
	urbano-semiurbano	308.65501	181.3787	435.9314	0.0000001	
PFC_Max_Frec	diff	lwr	upr	p adj		
	semiurbano-rural	589.86457	224.1112	955.6180	0.0005242	
	urbano-rural	612.26203	266.8977	957.6263	0.0001183	
BW_90	diff	lwr	upr	p adj		
	semiurbano-rural	536.27276	239.8670	832.6785	0.0000830	
	urbano-rural	445.36320	165.4807	725.2457	0.0006344	
PFC_Num_Inf	diff	lwr	upr	p adj		
	semiurbano-rural	-13.872378	-24.896441	-2.848314	0.0092098	

Plots de la prueba del Rango de Tukey

Se encontró distintas relaciones en la nota pre entre las poblaciones, siendo ligeramente significativo la variación entre la población M (rural - semiurbano) y L (semiurbano - urbano). La distancia promedio de los grupos al centroide de los respectivos sitios no difieren significativamente, sugiriendo que cada sitio tiene una variación similar en el ‘pre’ trino, esta nota del tema tiende a variar menos entre las poblaciones del mismo hábitat, pero no sabemos significativamente como se explica la relación (Tabla 5), (Figura 13).

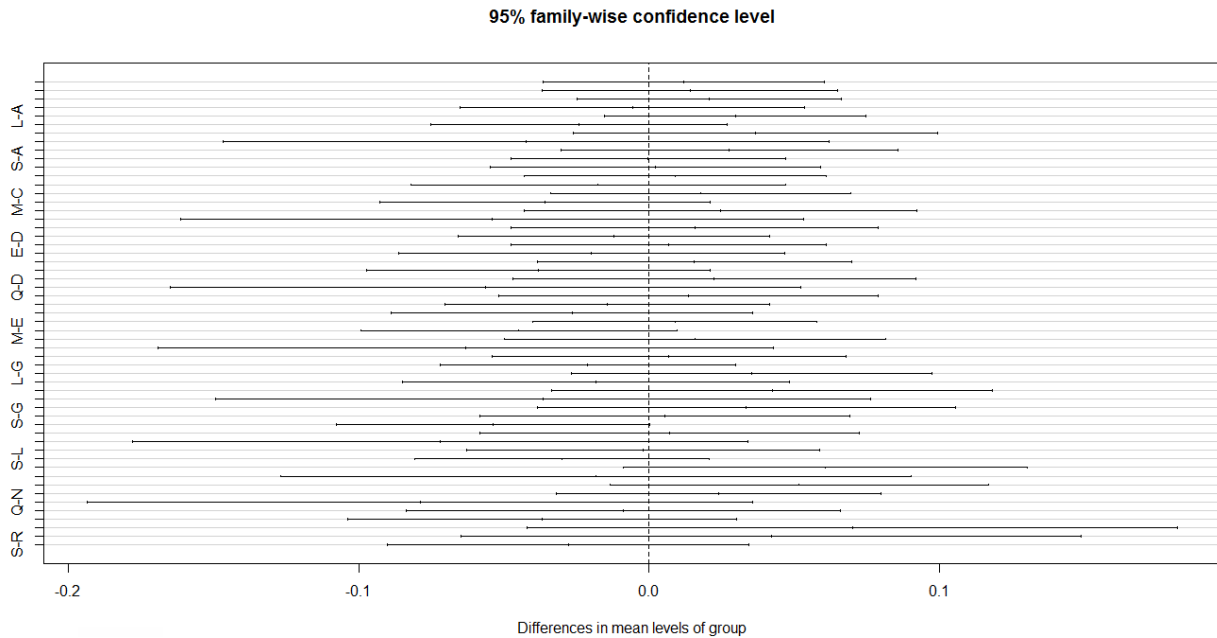


Figura 13. Intervalos de confianza de Tukey de la nota ‘pre’.

Se muestra las distancias promedio de los grupos al centroide de datos, las principales diferencias significativas del trino se encontró en las poblaciones: M-L, M-A, M-C, M-D, M-G, M-Q, Q-A, Q-E, Q-N, Q-R, Q-S. La población M (semiurbano, rural) y Q (rural) divergen en su mayoría con las demás, lo cual sugiere que el trino cambia significativamente con la distancia. Medidas como la longitud del trino, banda ancha, el rango intercuartil de la banda ancha, y el pico de frecuencia máxima, presentaron diferencias importantes para el análisis. Esto indica que el trino es la parte del canto más estable entre las poblaciones y las diferencias se incrementan en mayores distancias (Tabla 5), (Figura 14).

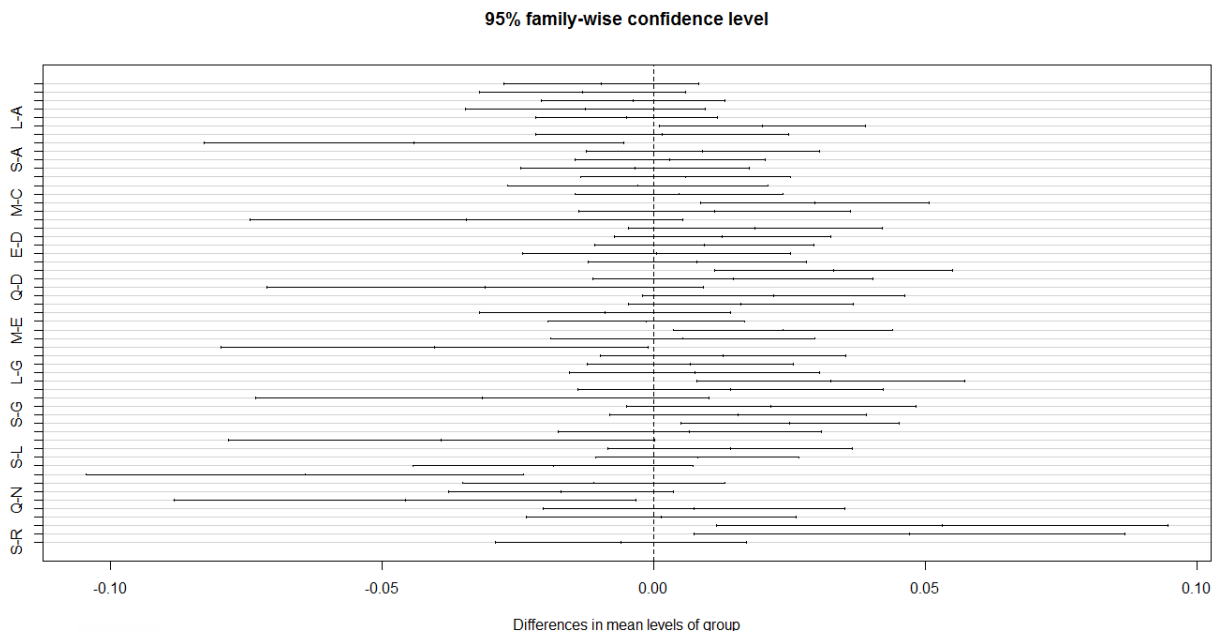


Figura 14. Intervalos de confianza de Tukey del 'trino'.

Las diferencias encontradas de las medidas 'full' entre poblaciones son significativas principalmente entre : R-A, R-C, R-D, R-E, R-G, R-M, R-Q, R-S, R-L, R-N. La población más representativa que difiere con la mayoría es R (9 de Octubre, rural), lo cual sugiere que en general podría ser debido a que están separados alopátricamente con la cordillera de los Andes, por lo tanto se encuentra mayores diferencias con las demás poblaciones, las diferencias se incrementan con la distancia y tipo de hábitat (Tabla 5), (Figura 15).

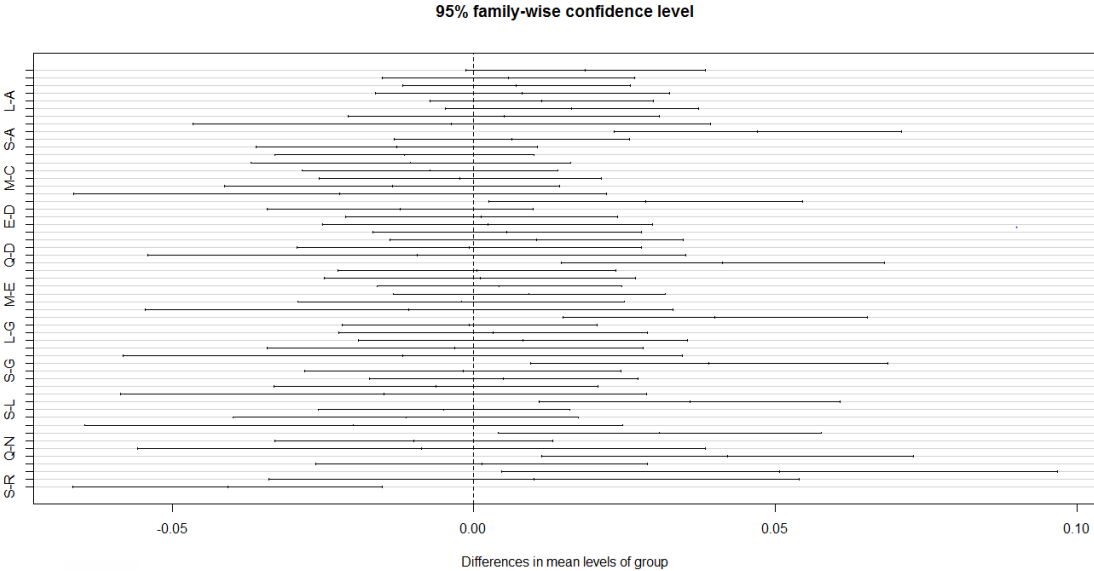


Figura 15. Intervalos de confianza de Tukey de las medidas completas 'full'.

## CAPÍTULO 3

### DISCUSIONES

Se obtuvo 82 cantos de *Zonotrichia capensis* y el análisis bioacústico individual de cada nota, de cada elemento por separado, donde se evaluó la variación en el número y caracteres de las notas presentes en la primera parte del canto y el trino terminal (Handford & Loughheed, 1991; Tubaro et al., 1997). Se encontró diferencias espaciales significativas en las características del canto entre sitios, siendo mayor las diferencias entre poblaciones que dentro de ellas, lo cual sugiere que grupos cercanos tendrán mayores similitudes en los rasgos del canto que los grupos más lejanos.

Se encontró que las notas introductorias del tema varían estocásticamente, debido a la dificultad de ser comparados no se encontró una relación importante con las variables medidas. Se sugiere que esta variación podría ser en función de la presión cultural en el que crecieron (Danner et al., 2012). No obstante, la nota pre varía menos que las primeras notas y mantiene características culturales similares en la mayoría de los cantos al ser la nota de mayor longitud en el tema y generalmente de tono descendente con mayor longitud en hábitats semiurbanos y urbanos en relación al hábitat rural.

El trino varía de forma más notoria entre poblaciones de diferentes hábitats. El trino de poblaciones urbanas presenta mayor longitud que las poblaciones semiurbanas y rurales, sin embargo la banda ancha de mayor amplitud está representado en las poblaciones semiurbanas y urbanas, lo cual es curioso según Derryberry et al., (2017) porque generalmente las aves que viven en ambientes con ruido alto asociado a sitios abiertos producen cantos con banda ancha más estrecha. En esta investigación los cantos tienen la banda ancha proporcional al pico de frecuencia máxima, donde comúnmente las frecuencias más altas pertenecen a los semiurbanos, urbanos y las más bajas a los rurales, este suceso generalmente está asociado a sitios con niveles de ruido antrópico alto (Moseley et al., 2018; Phillips & Gentry, 2018).

Las diferencias entre los cantos están marcadas por las características propias de cada ambiente, cada tipo de hábitat influye en la estructura del canto y presenta características propias como el número de notas, banda ancha y los picos de frecuencia. Las principales diferencias se presentan entre poblaciones urbanas y rurales, lo cual podría estar atribuido a la separación geográfica entre dichas poblaciones, a más de la divergencia cultural y las características homólogas en cada zona (Danner, 2017; Danner et al., 2012).

En un experimento de Gentry et al., (2017) se midió la respuesta de *Zonotrichia leucophrys nuttalli* de poblaciones urbanas y rurales a diferentes niveles de ruido transmitidos mediante altavoces, se obtuvo que los machos urbanos en función de la distancia del ruido ajustan rápidamente sus cantos,

con valores fluctuantes que en este caso tienden a disminuir el PFC máximo y la banda ancha, pero no la frecuencia mínima o duración del canto. Test de correlación relacionó positivamente el ajuste directamente proporcional de la banda ancha y PFC máximo con el ruido; en machos rurales no se encontró plasticidad vocal o respuesta inmediata en sus cantos. Similar a los cantos de esta investigación, tampoco se encontró que el pico de frecuencia mínima varíe significativamente entre los diferentes hábitats, pero la banda ancha si tiene una correlación positiva con el PFC máximo principalmente en la estructura 'pre', lo cual sugiere que disturbios en el hábitat como el ruido constante podría influir en el comportamiento acústico y las características de la primera parte del canto, las aves con mayor plasticidad acústica tendrán mayores probabilidades de adaptación y progenie en el hábitat urbano.

Los resultados del test de  $\chi^2$  no mostró una relación significativa entre el hábitat y el número de notas, sin embargo se puede observar en el resumen estadístico de 7 variables de los cantos de *Z. capensis* grabadas entre los hábitats, que las poblaciones urbanas presentan mayor PFC mínimo y PFC máximo, las poblaciones semiurbanas presentan mayor banda ancha. En cambio en poblaciones rurales se encontró comúnmente que la longitud del tema, la longitud del canto en general y el número de notas del tema presentan valores más altos que urbano y semiurbano. Lo que sugiere que el hábitat urbano es más sencillo ser escuchados con los cantos que presentan 2 notas y en hábitats rurales típicamente se encuentran cantos con 3 notas.

El tipo de respuesta inmediata de los gorriones puede evolucionar de generación en generación a través de la transmisión cultural y flujo génico característico en hábitats urbanos y rurales. Derryberry et al., (2017) encontró que los gorriones *Z. nuttalli* incrementan la intensidad y amplitud del canto en el PFC máximo en función de los niveles de ruido de su entorno, lo cual sugiere que los gorriones urbanos y semiurbanos pueden modificar sus cantos de forma inmediata.

El NMDS de la nota pre mostró que el pico de frecuencia máximo, mínimo y la banda ancha son menores en la población R (9 de Octubre) perteneciente al hábitat rural, sin embargo las demás poblaciones incluidas las rurales no presentaron variaciones significativas. Esto sugiere que podría tratarse de diferencias notorias por distancia y por barreras alopátricas al encontrarse al lado oriental de la cordillera de los Andes. Los cantos de sitios muy diferentes por la estructura del hábitat probablemente se pueden encontrar en un temprano proceso de especiación (Toews, 2017), este podría ser el caso de la población R, por ser de las estribaciones de la cordillera oriental sus individuos cantan bastante diferente.

El NMDS del trino básicamente mostró mayores diferencias a mayores distancias, como el caso de la población Q (Pintag) y R (9 de Octubre). Estas poblaciones mostraron diferencias más significativas comparado con las poblaciones de Cuenca, principalmente en medidas propias como la banda ancha, pico de frecuencia máxima y en la longitud o duración del trino. Se sugiere que



las diferencias significativas de estas poblaciones rurales podría estar influenciado por las características propias del hábitat como la vegetación endémica asociada, niveles de ruido bajo y la distancia.

Tomando en cuenta la abundancia de cantos en áreas urbanas como en avenidas principales con altos niveles de ruido, donde comúnmente se escucha cantando un gorrión al menos cada 100 m, respecto los rurales que sus cantos son escasos. Se podría considerar que las poblaciones de Cuenca, urbanos y semiurbanos están bien adaptados a los niveles de ruido alto, lo cual podría estar diversificando los dialectos de los gorriones en rangos geográficos relativamente cortos, principalmente en las notas introductorias y pre (Nottebohm, 1969; Nottebohm & Selander, 1972). Los procesos de aprendizaje también varía en función del ambiente y puede influir en la divergencia de dialectos (Danner, 2017; Danner et al., 2012). Estas adaptaciones son transmitidas a través de las generaciones, sin embargo si un gorrión rural se desplaza hacia un sitio urbano, es muy probable que su canto no sea escuchado y se enmascare con el ruido de la ciudad porque sus habilidades de cantar han sido desarrolladas en su entorno natural con niveles de ruido bajo por lo tanto carecen de la flexibilidad inmediata; los gorriones urbanos han venido adaptando su canto a las áreas antropogénicas durante el último siglo y estas habilidades son transmitidas en las generaciones (Gentry et al., 2017).

La variación en la morfología del hábitat explica la variación del canto del gorrión, en un estudio de Derryberry, (2014) entre 1970 y 2005 se encontró que la dirección del cambio de la estructura del canto, también es consistente con el cambio de las densidades de vegetación, pues en el transcurso de 35 años el canto del gorrión disminuyó la longitud del trino y principalmente aumentó el PFC máximo, la banda ancha, mientras que la frecuencia mínima no cambió significativamente. Los resultados sugieren que las características del hábitat pueden dar forma a la variación del canto evolutivamente a través de las generaciones y los cambios en el hábitat inducen a un cambio de las señales auditivas con el tiempo (Derryberry, 2014).

Las poblaciones de gorriones dentro de la zona antrópica, es decir poblaciones urbanas y semiurbanas muestran poca variación entre individuos cercanos si se analiza los cantos íntegramente en su totalidad sin separar el análisis de sus estructuras, estas poblaciones tienen características estructurales del canto en común como: la longitud de la nota pre más extensa y mayor amplitud en la frecuencia, lo cual sugiere que podrían ser adaptaciones para mitigar el enmascaramiento de un hábitat caracterizado por niveles de ruido alto en frecuencia baja.

El NMDS de las medidas completas del canto mostró que en especial la población R (9 de Octubre) está aislado en el diagrama, principalmente por tener mayor longitud de canto, mayor número de notas, menor banda ancha y menor pico de frecuencia mínima-máxima que las poblaciones urbanas y semiurbanas.

La prueba de bondad de ajuste de envfit evaluó la relación de la ordenación en función de las variables ambientales medidas de cada estructura de los cantos, donde las probabilidades que resultaron explican la variación y las diferencias significativas de pre, trino y full entre las poblaciones, donde influye el hábitat y el ruido antrópico; pero el trino no es afectado fuertemente por el ruido, lo cual sugiere que no es afectado fuertemente por dichas variables y puede ser más estable que las notas introductorias incluido pre, por esta razón el trino se puede considerar la mejor estructura del canto para determinar geográficamente un dialecto (Danner et al., 2012; Nottebohm, 1969).

La prueba de análisis de varianza nos muestra cómo la variación de medias analizado en pre, trino y full difiere significativamente entre poblaciones. Los efectos o características de los cantos varían en función del tipo de hábitat y sus variables ambientales, estas diferencias se incrementan entre individuos de diferentes poblaciones, es decir los cantos tienen mayor relación entre poblaciones cercanas que con las poblaciones lejanas.

Para comprender de mejor manera la variación de cada una de las estructuras del canto se realizó el ANOVA por tipos de hábitats. Por lo tanto fue necesario seleccionar las medidas más relevantes de pre, trino y full, dando un total de 18 pruebas. La nota pre mostró diferencias significativas entre hábitats en la longitud, el pico de frecuencia mínima y máxima del canto. La longitud es mayor en poblaciones semiurbanas y urbanas con 0.5 s, rural con alrededor de 0.4 s. En cambio en el pico de frecuencia máxima en las poblaciones urbanas tienen alrededor de 6,8 KHz, pero los rurales y semiurbanos solo llegan a los 5,2 KHz aproximadamente, lo cual indica que las diferencias significativas del canto en la nota pre son principalmente entre poblaciones de hábitats urbano-rural y semiurbano-rural.

Modificar los cantos en función del ruido ya sea incrementar o reducir el PFC máximo se considera una adaptación acústica, claramente diferentes especies tienen diferentes estrategias de reducir el enmascaramiento (Gentry et al., 2017; Luther & Derryberry, 2012). La plasticidad vocal puede mejorar la transmisión de señales durante las fluctuaciones del ruido urbano, pero optar por esta estrategia ha significado costos del potencial sexual como disminución del tamaño corporal o cantos de menor performance/fitness, esto podría significar mayores problemas para la reproducción, aunque no para la supervivencia (Phillips & Gentry, 2018).

El trino presenta diferencias significativas entre hábitats principalmente en la longitud o duración, el pico de frecuencia máxima, mínima y la banda ancha. La longitud del trino es mayor en las poblaciones urbanas con aproximadamente 0.75 s y los rurales y semiurbanos con menos de 0.62 s. Las diferencias son más notorias tomando en cuenta el pico de frecuencia máxima, siendo el hábitat semiurbano el de mayor rango con 7,0 KHz, el urbano con 6,4 KHz y el rural con menos de 5,9 KHz. La frecuencia mínima también es menor en el hábitat rural con 3,25 KHz y los urbanos

y semiurbanos con más de 3,5 KHz. La banda ancha es mayor en los semiurbanos con más de 2,6 KHz, el urbano con 2,2 KHz aproximadamente y el rural con 2,0 KHz.

En la investigación de Handford & Loughheed, (1991) se analizó la variación de cantos de *Z. capensis* sobre los dialectos de los trinos, se encontró una relación positiva entre los intervalos de trino o tiempo de silencio entre cada elemento y los tipos de hábitats; así los trinos que fueron más lentos, fueron trinos con intervalos más largos y estos correspondían a un ecosistema con vegetación montana, en cambio los trinos de pastizales fueron más rápidos de mayor frecuencia y mayor ancho de banda, comportamiento acústico comparable a las poblaciones de Cuenca.

Las aves que disminuyen la longitud del trino es para mitigar la opacidad de sus cantos, ya que cantos cortos repetidos constantemente transmiten mejor en hábitats abiertos que tienen pocas superficies de reverberación donde podría reflejar sus ondas de canto, sin embargo cuando un gorrión canta con temas cortos es compensado con trinos largos (Hill et al., 2017). El 30% de la variación en la frecuencia, duración y banda ancha está determinado por la variación del incremento del trino, lo cual afecta a las medidas del tema (Handford & Loughheed, 1991). En la Patagonia el trino puede indicar con mayor precisión la localidad a la que pertenece porque es más constante o de menor variación que el tema en zonas más tropicales (Egli, 1971; Tubaro et al., 1997).

El análisis full es significativo entre hábitats en la banda ancha, frecuencia mínima y máxima. La banda ancha es menor en los rurales con 2.1 KHz, semiurbano con 2.6 KHz y urbano con 2.5 KHz. En el pico de frecuencia máxima al ser proporcional a la banda ancha, también es menor en los rurales con 6.5 KHz, semiurbano y urbano con 7.2 KHz. Los puntos de inflexión del trino y full es mayor en los rurales. Las medidas completas o full permite analizar de forma holística la estructura de los cantos, las características del tema y trino nos revelan diferencias importantes entre hábitats, lo cual demuestra la plasticidad acústica en función de las características ambientales como el ruido. Dichas diferencias pueden ser usadas para identificar posibles poblaciones en sitios determinados. Los dialectos asociados a coordenadas geográficas por sus diferencias proporcionan evidencia de que la distancia es el mecanismo que impulsa la divergencia de la población formando metapoblaciones (aislamiento o diferenciación de cantos por distancia) (Gentry et al. 2017).

La prueba de Tukey ayudó a determinar las diferencias significativas entre las poblaciones de diferentes hábitats, siendo relevante la variación de la nota pre entre la población M con sitios rurales - semiurbanos y L con sitios semiurbanos – urbanos. En la longitud del canto las diferencias son significativas entre los hábitats semiurbano - rural, el PFC máximo, mínimo entre urbano – rural. Es muy común encontrar dos o más individuos en una población cantando el mismo tema

con rasgos característicos que los diferencian, pueden ser muy similares, pero nunca idénticos (Nottebohm & Selander, 1972).

La prueba Tukey del trino mostró diferencias significativas en la banda ancha, el rango intercuartil de la banda ancha, el pico de frecuencia máxima y en la longitud del canto, entre poblaciones pertenecientes al hábitat rural – semiurbano (M) y rural (Q, R) principalmente estas poblaciones fueron el factor común que divergen con la mayoría por la distancia en la que se encuentran, lo cual sugiere que el trino no varía significativamente entre poblaciones cercanas y las diferencias se incrementan en mayores distancias. Danner et al., (2012) sugiere que los gorriones pueden reconocer a los individuos de su localidad, en el caso de las hembras seleccionan sexualmente a los dialectos locales, debido a la falta de reconocimiento de dialectos con gorriones alopátricos a solo 25km de distancia, principalmente por las características del trino. En cambio los machos muestran una respuesta territorial similar en todos los dialectos conoespecíficos. La falta de reconocimiento del dialecto puede estar influenciando la divergencia de poblaciones por barreras geográficas como la cordillera de los Andes y la distancia, lo cual afecta las características del canto, en especial del trino (Handford & Lougheed, 1991; Miller & Miller, 2015; Tubaro et al., 1997).

La prueba Tukey de full mostró diferencias significativas entre poblaciones de distintos hábitats, siendo la población rural (R) la que diverge considerablemente respecto de las demás, especialmente en el pico de frecuencia mínima las diferencias son significativas entre urbano – rural, el pico de frecuencia máxima y la banda ancha entre urbano – rural, semiurbano – rural y en menor proporción en el pico del número de puntos de inflexión entre semiurbano – rural. Se sugiere que las diferencias significativas con la población R perteneciente a 9 de Octubre podría deberse a que se encuentra en las estribaciones del lado oriental de la cordillera de los Andes, población alopátrica donde por un tiempo prolongado se podrían originar cantos lo suficientemente diferenciados para originar aislamiento reproductivo y una posible subespeciación (Bulus, 2014; Danner et al., 2012; Nottebohm, 1969; Toews, 2017).

Generalmente las poblaciones rurales cantan menos frecuente que las urbanas, esto podría estar atribuido a que sus cantos en esos hábitats con niveles de ruido bajo son más eficientes y transmiten mejor que en zonas ruidosas, por lo tanto no necesitan modificar sus cantos (Luther & Derryberry, 2012). Un macho urbano canta frecuentemente y ajusta la estructura de sus cantos para reducir el enmascaramiento. La variabilidad individual de cantos es alta en sitios semiurbanos y urbanos principalmente en la longitud y frecuencia máxima del tema, ya que el trino varía menos, lo más probable sea debido a mecanismos de adaptabilidad que explica la plasticidad de cantos en zonas ruidosas (León et al., 2014; Slabbekoorn & den Boer-Visser, 2006). Así como la deleción de notas o incremento de la amplitud en el canto, también puede significar un ambiente de estrés o ansiedad (Miller & Miller, 2015; Tubaro et al., 1997).

## CONCLUSIONES

Se encontró diferencias significativas en la estructura de los cantos entre individuos y entre poblaciones, siendo mayor las diferencias entre poblaciones de distintos hábitats, principalmente entre urbano y rural. Lo cual sugiere que los cantos son más similares dentro de una población cercana y la variación aumenta con la distancia y tipo de hábitat.

Este estudio no provee conclusiones definitivas, es un primer acercamiento a la variación de cantos analizados, se necesitan más estudios para comprender por completo los mecanismos de la variación de cantos geográficamente. En futuras investigaciones se sugiere incluir variables adicionales que podrían estar influenciando sinérgicamente sobre la complejidad vocal como: variables climáticas, barreras geográfica, competencia, variación de cantos asociado a mutaciones genéticas, selección sexual sobre dialectos locales.

Además sería idóneo obtener más muestras de hábitats rurales para asegurar que las diferencias encontradas son verdaderas; también medir la densidad poblacional de gorriones por Km<sup>2</sup>, el tamaño corporal, lo cual podría proporcionar un análisis más preciso con diferencias más finas de la variación geográfica de los dialectos, para entender la evolución de la transmisión de cantos.

Para realizar un proyecto de tal magnitud se debería contar con más personal para abarcar holísticamente los objetivos. Una posible limitación de este estudio es la ausencia de datos fenológicos, climáticos en previas investigaciones locales para poder comparar y explicar mejor la variación de cantos encontrada.

## BIBLIOGRAFÍA

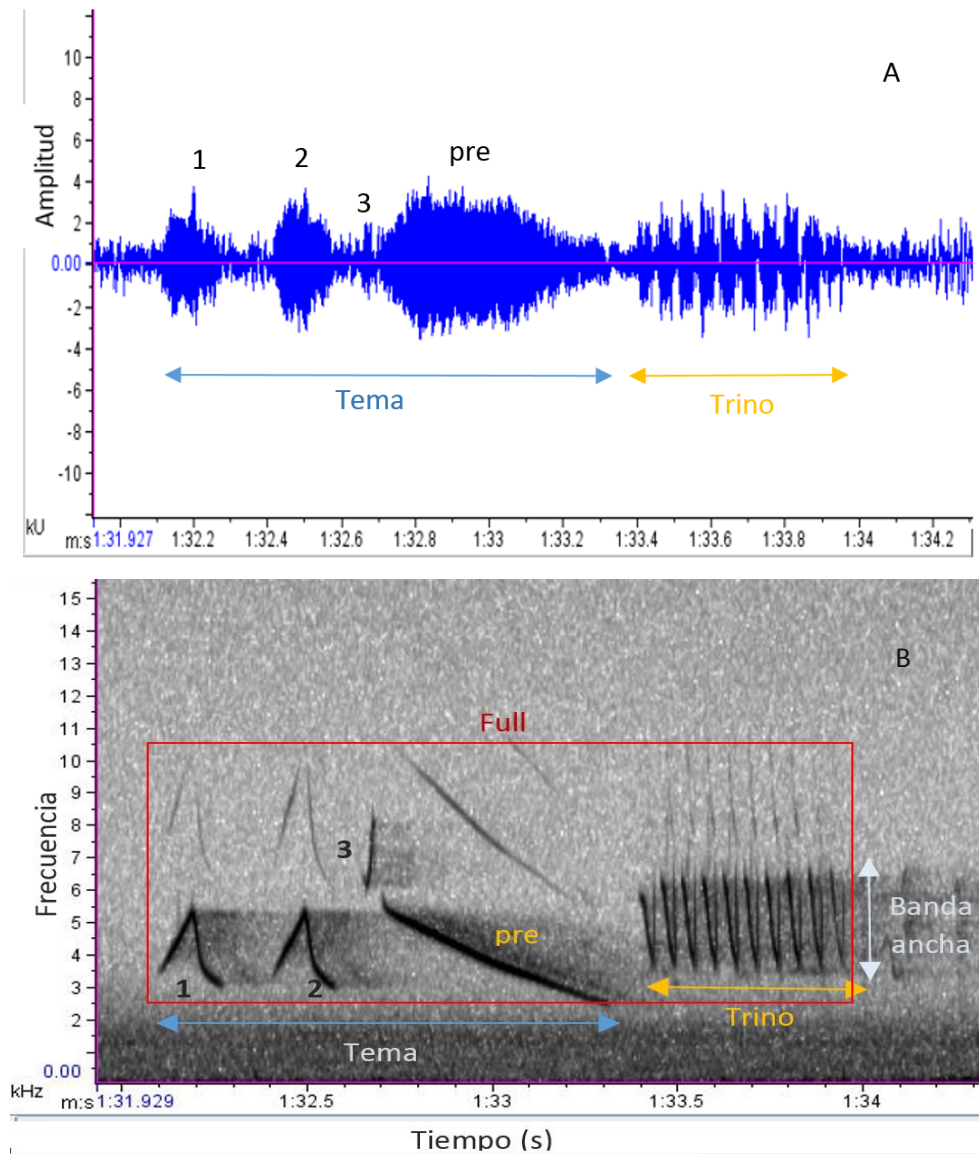
- Aguilar J. M. (2016). Description and Conservation status of a new subspecies of *Xenodacnis parina* (Aves: Thraupidae) from the Ecuadorian Andes.
- Anderson, M. (2006). Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions. *Biometrics*, 62, 245–253.
- Bioacustics, C. for conservation of. (2014). Interactive Sound Analysis Software. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. Retrieved from <http://ravensoundsoftware.com/>
- Bolus, R. (2014). Geographic variation in songs of the Common Yellowthroat Geographic variation in songs of the Common Yellowthroat, *131*(2), 175–185. <https://doi.org/10.1642/AUK-12-187.1>
- Cadena-ortiz, H. (2018). Anidación del Gorrión Criollo *Zonotrichia capensis* ( Emberizidae ) en Quito , Ecuador, (2013), 1–5.
- Catchpole, C. K., & Slater, P. J. B. (2008). The study of bird song. *Bird Song: Biological Themes and Variations*, 1–10.
- Charif, R., Strickman, L., & Waaack, A. (2010). Raven Pro 1.4 User's Manual. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology.
- Danner, J. (2017). Genetic population structure in an equatorial sparrow: roles for culture and geography, 0–2. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>
- Danner, Julie E, Danner, R. M., Bonier, F., Martin, P. R., Thomas, W., Moore, I. T., ... Moore, I. T. (2011). Female , but Not Male , Tropical Sparrows Respond More Strongly to the Local Song Dialect : Implications for Population Divergence. <https://doi.org/10.1086/660283>
- Danner, Julie Elizabeth, Oore, M. I. T., Walters, J. R., Hawley, D. M., & Fleischer, R. C. (2012). The Role Of Cultural Divergence In Reproductive Isolation In A Tropical Bird , The Rufous-Collared Sparrow ( *Zonotrichia Capensis* ) The Role Of Cultural Divergence In Reproductive Isolation In A Tropical Bird , The Rufous-Collared Sparrow ( *Zonotrichia Ca*, (May).
- Derryberry, E., Gentry, K., & Derryberry, G. (2017). White- - crowned sparrow males show immediate flexibility in song amplitude but not in song minimum frequency in response to changes in noise levels in the field, (June). <https://doi.org/10.1002/ece3.3037>
- Derryberry, E. P. (2014). Ecology Shapes Birdsong Evolution : Variation in Morphology and Habitat Explains Variation in White-Crowned Sparrow Song, *174*(1), 24–33. <https://doi.org/10.1086/599298>
- Egli, W. (1971). Investigaciones Sobre El Canto De *Zonotrichia Capensis Chilensis* ( Meyen ) ( Aves , Passeriformes ), 173–190.
- Escalante, I. (2013). vocalizaciones y su posible variación geográfica en Costa Rica en *Myiothlypis fulvicauda* ( Parulidae : Aves ). *Universidad de Costa Rica*.

- Fernández, Á. A. (2019). RPubs - Análisis de Componentes Principales (PCA). Retrieved October 23, 2019, from <http://rpubs.com/aafernandez1976/PCA>
- Gentry, K. E., Fish, F., Commission, W. C., Derryberry, E. P., Danner, R. M., & Luther, D. (2017). Immediate signaling flexibility in response to experimental noise in urban , but not rural , white-crowned sparrows Immediate signaling flexibility in response to experimental noise in urban , but not rural , white-crowned sparrows, (August). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1916>
- Gil, D., Honarmand, M., Pascual, J., & Pérez-mena, E. (2015). Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise, *26*, 435–443. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru207>
- Graham, B. A., Sandoval, L., Dabelsteen, T., Mennill, D. J., Graham, B. A., Sandoval, L., ... Daniel, J. (2016). A test of the Acoustic Adaptation Hypothesis in three types of tropical forest : degradation of male and female Rufous-and-white Wren songs. *The International Journal of Animal Sound and Its Recording*, *4622*(May). <https://doi.org/10.1080/09524622.2016.1181574>
- Grunst, M., Grunst, A., Formica, V., Gonser, R., & Tuttle, E. (2018). Multiple signaling functions of song in a polymorphic species with alternative reproductive strategies, (January). <https://doi.org/10.1002/ece3.3702>
- Handford, P., & Loughheed, S. C. (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 ', *93*(3), 644–658.
- Hill, S. D., Pawley, M. D. M., & Ji, W. (2017). Local habitat complexity correlates with song complexity in a vocally elaborate honeyeater, (4), 1–7. <https://doi.org/10.1111/aec.12477>
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., ... Tovar, a. (2009). Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. *Bolivia, Colombia, Ecuador, ...*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Ecosistemas+de+los+Andes+del+Norte+y+Centro#0>
- Legendre, P., & Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, *129*(2), 271–280. <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- León, E., Beltzer, A., & Quiroga, M. (2014). El jilguero dorado ( *Sicalis flaveola* ) modifica la estructura de sus vocalizaciones para adaptarse a hábitats urbanos The Saffron finch ( *Sicalis flaveola* ) modifies its vocalizations to adapt to urban habitats. <https://doi.org/10.7550/rmb.32123>
- Luther, D. A., & Derryberry, E. P. (2012). Birdsongs keep pace with city life : changes in song over time in an urban songbird affects communication. *Animal Behaviour*, *83*(4), 1059–1066. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.01.034>
- McCune, B., G., J. B., & U., & L, D. (2002). Analysis of ecological communities. *Gleneden Beach, OR: MjM Software Design.*, 28.
- Miller, A. H., & Miller, V. D. (2015). The Behavioral Ecology And Breeding Biology Of The

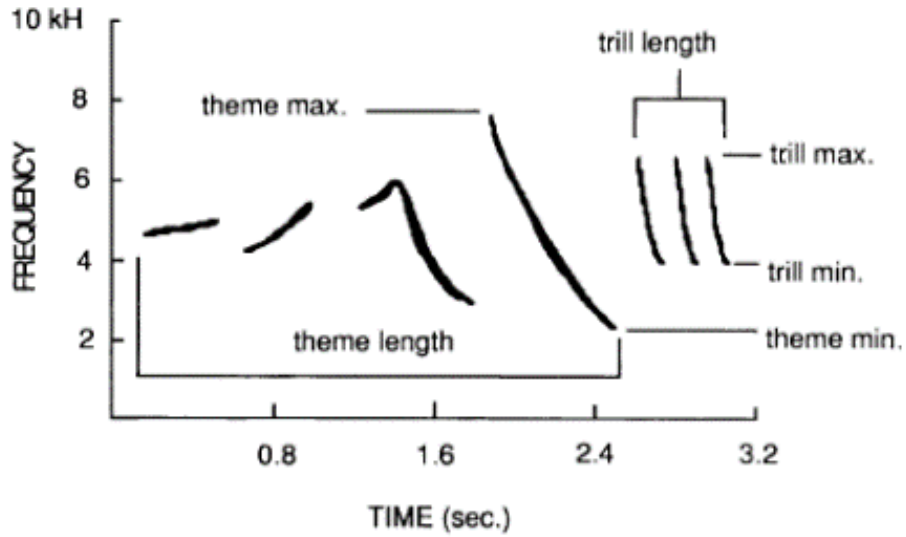
- Andean Sparrow , All Use Subject To Jstor Terms And Conditions By, *10*(47), 83–154.
- Moseley, D. L., Derryberry, G. E., Phillips, J. N., Danner, J. E., Danner, R. M., Luther, D. A., ... Derryberry, E. P. (2018). Acoustic adaptation to city noise through vocal learning by a songbird Authors for correspondence :, (October). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1356>
- NMDS Tutorial in R – sample(ECOLOGY). (n.d.). Retrieved December 23, 2019, from <https://jonlefcheck.net/2012/10/24/nmnds-tutorial-in-r/>
- 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. <https://doi.org/10.2307/1366306>
- Nottebohm, F., & Selander, R. (1972). Vocal Dialects and Gene Frequencies in the Chingolo Sparrow ( *Zonotrichia capensis* ) Published by : Cooper Ornithological Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1366277> References Linked r, *74*(2), 137–143.
- Oksanen, A. J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., Mcglinn, D., ... Szoecs, E. (2019). Package ‘vegan.’ R.
- Pacheco-Vargas, G., & Losada-Prado, S. (2015). Efecto del ruido del tráfico vehicular en cantos de *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*. *Effect of the Traffic Noise on the Songs of Hylophilus Flavipes and Cyclarhis Gujanensis.*, *6*(2), 177–183. Retrieved from <http://ezproxy.unibague.edu.co:2048/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=109245538&site=ehost-live>
- Pdot. (2015). Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Cuenca. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 74. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Phillips, J. N., & Gentry, K. E. (2018). Surviving in the city : higher apparent survival for urban birds but worse condition on noisy territories Surviving in the city : higher apparent survival for urban birds but worse condition on noisy territories, (September). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2440>
- Slabbekoorn, H., & den Boer-Visser, A. (2006). Cities Change the Songs of Birds. *Current Biology*, *16*(23), 2326–2331. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.10.008>
- Snyder, K. T., & Creanza, N. (2019). Polygyny is linked to accelerated birdsong evolution but not to larger song repertoires. *Nature Communications*, *10*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08621-3>
- Toews, D. P. L. (2017). From song dialects to speciation in white-crowned sparrows, 2842–2844. <https://doi.org/10.1111/mec.14104>
- Tubaro, P. L., Handford, P. T., & Segura, E. T. (1997). Aprendizaje del canto en el chingolo (*Zonotrichia capensis*). *Hornero*, *14*, 204–210.
- Wei, T., & Simko, V. (2017). R package “corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix.



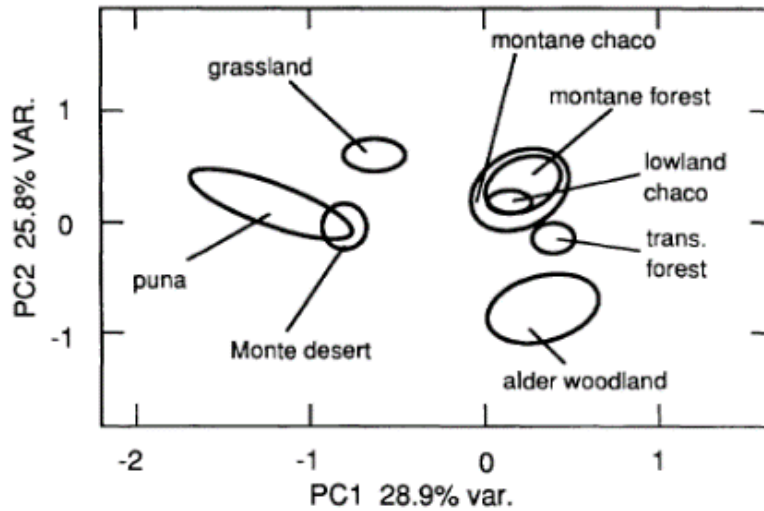
## ANEXOS



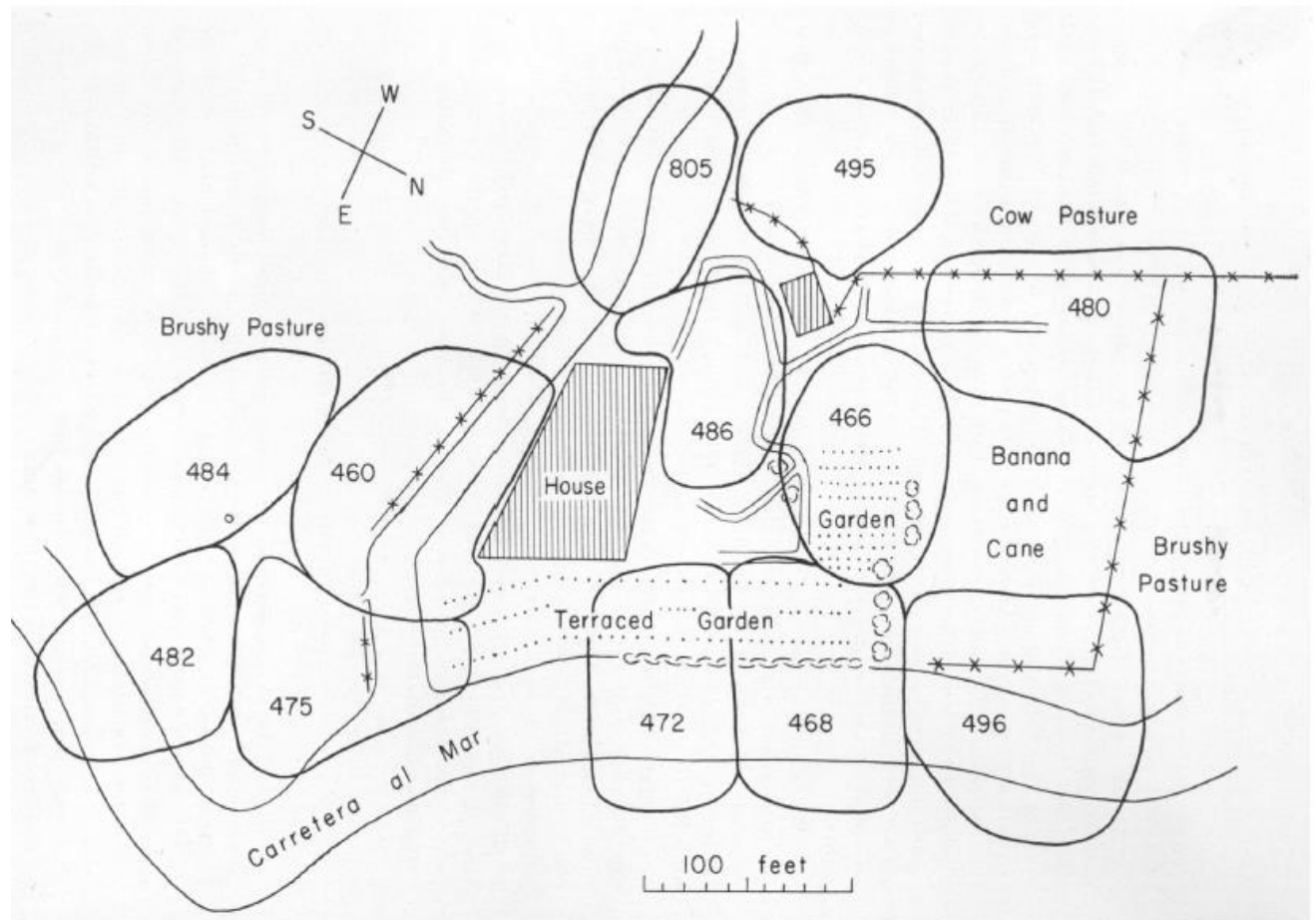
Anexo 1. (A) Forma de onda de Raven Pro 1.5. Muestra la amplitud del canto cambia instantáneamente con las fluctuaciones de niveles de ruido, es medido en el eje vertical en kilounidades, la energía es distribuida en función de la frecuencia máxima, referente a la unidad proporcional de presión sobre el micrófono durante la producción y representación de un canto. (B) Sonograma de Raven Pro 1.5. Representa la medición de las firmas únicas de los cantos, nos indica la estructura y cada uno de sus elementos que se usaron en esta investigación para analizar la complejidad del canto. Esta muestra pertenece al hábitat semiurbano.



Anexo 2. Espectrograma de un canto estilizado de *Zonotrichia capensis* que muestra las medidas de las nota en secuencia de izquierda a derecha, empieza por el tema o notas introductorias y termina en el trino (Handford & Loughheed, 1991).



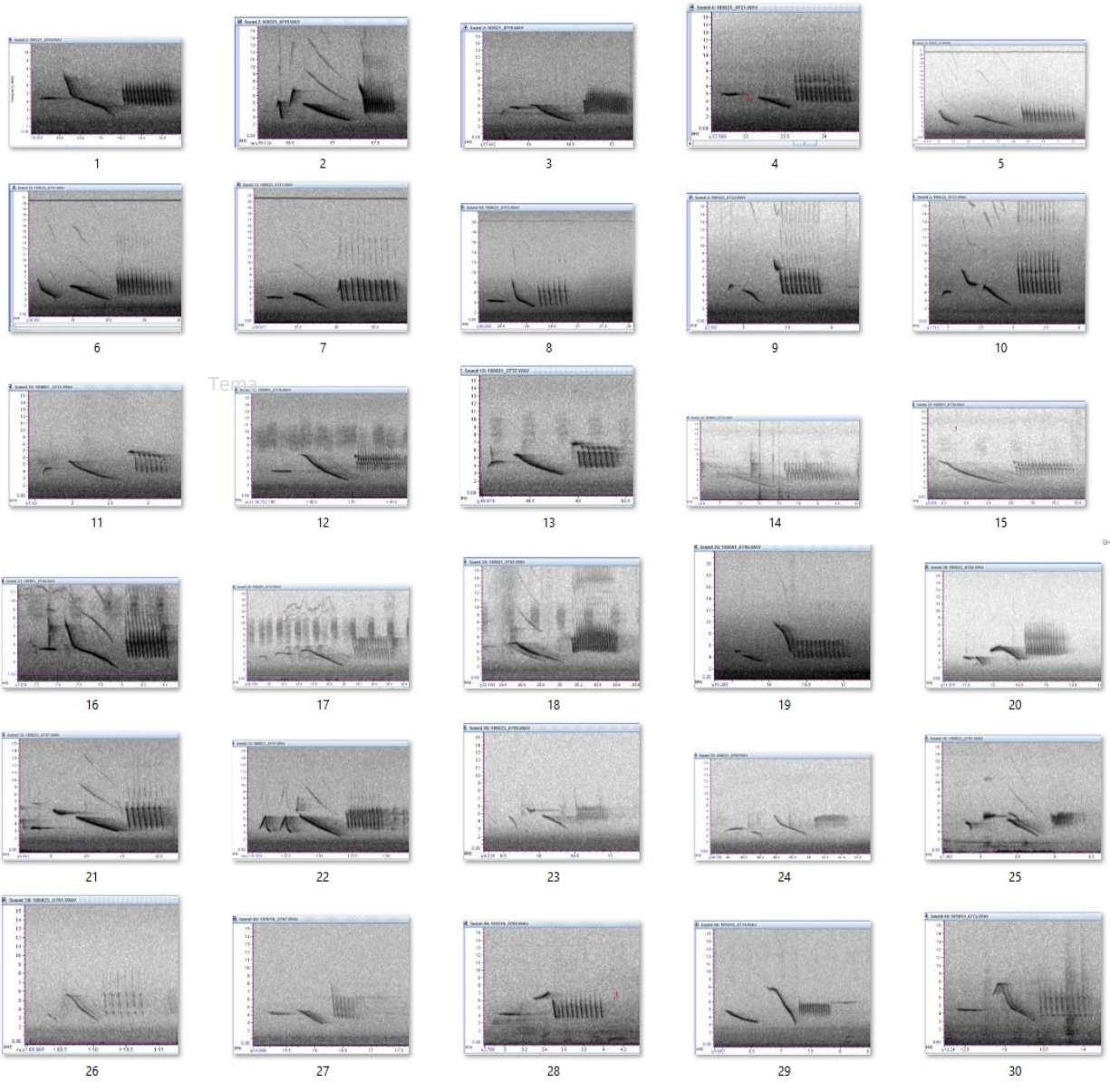
Anexo 3. Elipse de confianza del 95% alrededor de las medias de grupos en función de características de los cantos PC1 y PC2 (Handford & Loughheed, 1991).

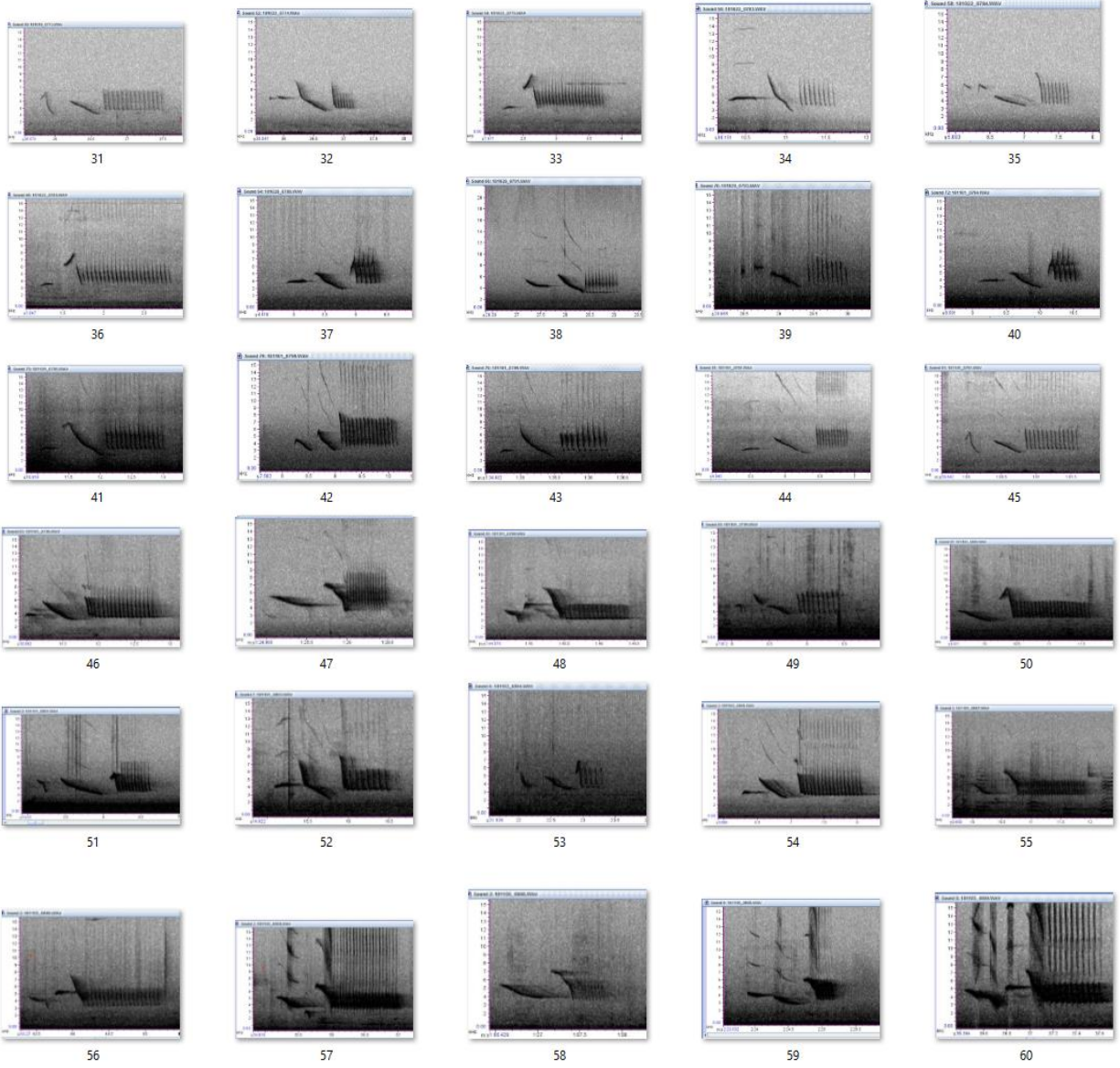


Anexo 4. Mapa de territorios de *Zonotrichia capensis* alrededor de una casa y jardines, cada territorio es designado en función de las características del trino y pueden haber diversas poblaciones dentro de un mismo sector que varían fenotípicamente en los cantos (Miller & Miller, 2015).

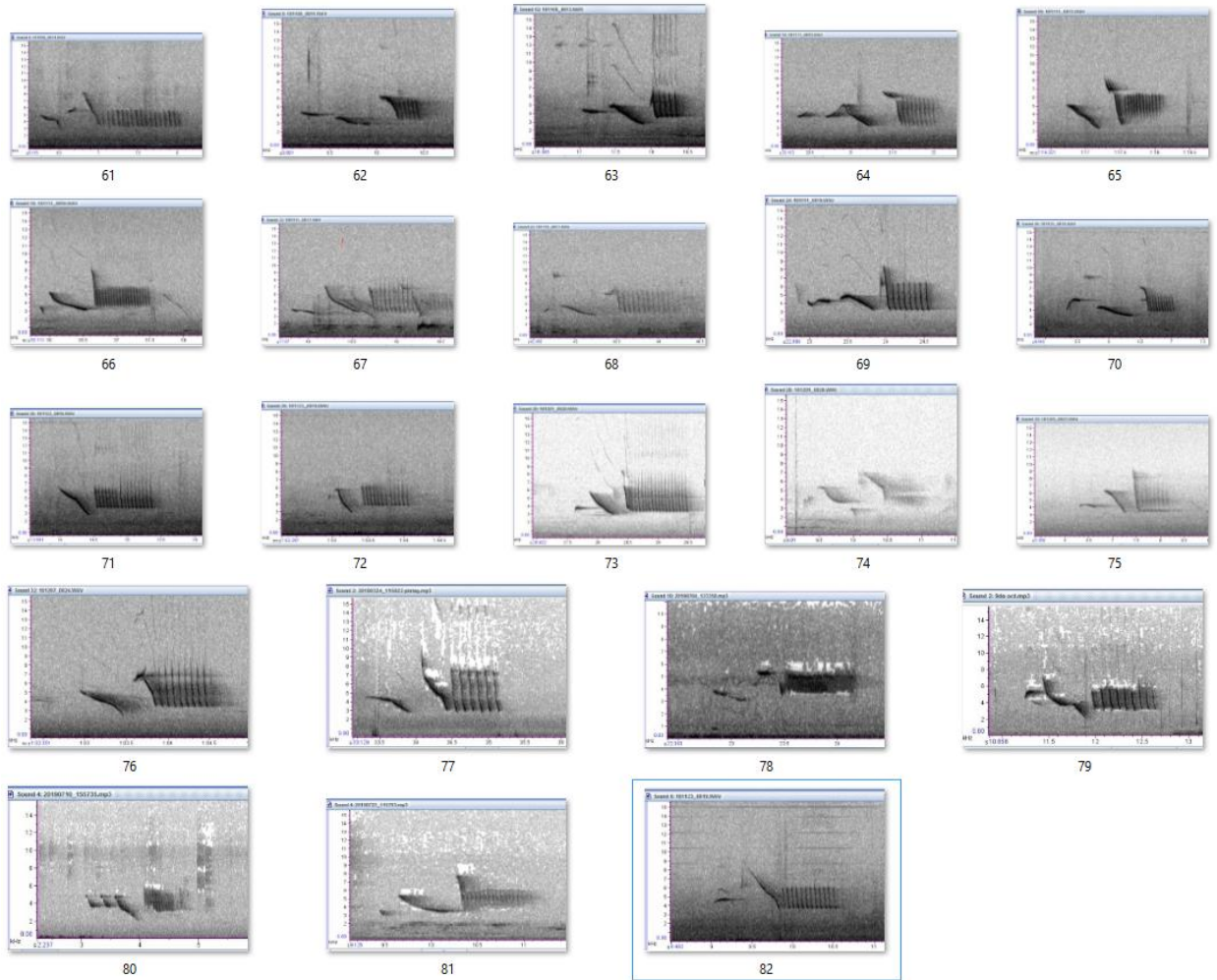


Anexo 5. Tres individuos de *Zonotrichia capensis*, a: hembra o juvenil; b y c: machos. © Neysser Alegría





# Neysser Alegría



Anexo 6. Espectrogramas con cada uno de los cantos analizados que varían en la forma y características de sus estructuras.

Tabla 6. Resumen de las variables medidas de cantos de *Zonotrichia capensis*.

Individ	Avg power	BW_90	f_min	f_max	Long_canto	Nro_Not	long_in_1	Long_in_2	long_in_3	long_in_4	long_in_5	long_in_6	long_in_7	long_in_8	long_in_9	long_in_10	long_in_11	long_in_12	long_in_13	long_in_14	long_in_15	long_in_16	long_in_17	long_in_18	long_in_19	long_in_20	long_in_21	long_in_22	long_in_23	long_in_24	long_in_25	long_in_26	long_in_27	long_in_28	long_in_29	long_in_30	long_in_31	long_in_32	long_in_33	long_in_34	long_in_35	long_in_36	long_in_37	long_in_38	long_in_39	long_in_40	long_in_41	long_in_42	long_in_43	long_in_44	long_in_45	long_in_46	long_in_47	long_in_48	long_in_49	long_in_50	long_in_51	long_in_52	long_in_53	long_in_54	long_in_55	long_in_56	long_in_57	long_in_58	long_in_59	long_in_60	long_in_61	long_in_62	long_in_63	long_in_64	long_in_65	long_in_66	long_in_67	long_in_68	long_in_69	long_in_70	long_in_71	long_in_72	long_in_73	long_in_74	long_in_75	long_in_76	long_in_77	long_in_78	long_in_79	long_in_80	long_in_81	long_in_82	long_in_83	long_in_84	long_in_85	long_in_86	long_in_87	long_in_88	long_in_89	long_in_90	long_in_91	long_in_92	long_in_93	long_in_94	long_in_95	long_in_96	long_in_97	long_in_98	long_in_99	long_in_100
mE	ms	Nombre	localidad	Poblacion	Habitat	Ruido_antropogenic	Nro_Archivo																																																																																																			
1	54.6	2153.3	2186.4	7582.6	1.306	2	0.077	0.120	0.000	0.000	2	0.734	0.494	11	721861	9677135	Autopista	A	semirurbano	bajo	719-718-733-																																																																																					
2	66.8	3273	2387.9	8268.8	1.359	3	0.090	0.082	0.095	0.000	3	0.857	0.425	2	721861	9677135	Autopista	A	semirurbano	bajo	719-736																																																																																					
3	66.1	2756.2	2670.1	6460	1.548	3	0.067	0.136	0.182	0.000	3	0.842	0.563	3	721861	9677135	Autopista	A	semirurbano	bajo	719-733-734																																																																																					
4	70.2	2325.6	3078	7149	1.677	2	0.277	0.056	0.000	0.000	2	0.888	0.739	4	721861	9677135	Autopista	A	semirurbano	bajo	721																																																																																					
5	53.4	2497.9	2668.5	6718.4	1.83	2	0.200	0.116	0.000	0.000	2	1.014	0.708	5	721978.07	9677404.5	La isla	L	semirurbano	mediano	750																																																																																					
6	75.3	2411.7	2928.5	7235	1.899	2	0.176	0.099	0.000	0.000	2	0.98	0.916	6	721978.07	9677404.5	La isla	L	semirurbano	mediano	751																																																																																					
7	75.4	2584	2497.9	7321.3	1.725	2	0.169	0.158	0.000	0.000	2	0.815	0.797	7	721978.07	9677404.5	La isla	L	semirurbano	mediano	751-752-753																																																																																					
8	74.5	2411.7	2928.5	8182.6	1.589	2	0.151	0.091	0.000	0.000	2	0.951	0.583	8	721978.07	9677404.5	La isla	L	semirurbano	mediano	753																																																																																					
9	67.2	3359.2	2584	8096.5	1.046	2	0.096	0.153	0.000	0.000	2	0.352	0.538	9	747893.73	9697925.43	Bulán (mariposa)	M	semirurbano	mediano	723																																																																																					
10	72.3	2842.4	2239.5	7493.6	1.859	3	0.191	0.129	0.217	0.000	3	0.967	0.67	10	747893.73	9697925.43	Bulán (mariposa)	M	semirurbano	mediano	723-724-725																																																																																					
11	60.5	3617.6	2670.1	6804.5	1.672	2	0.235	0.202	0.000	0.000	2	0.947	0.552	11	722535.88	9676156.26	Antenas	A	semirurbano	bajo	730-731																																																																																					
12	62.9	2928.5	2584	7838.2	1.677	2	0.125	0.087	0.000	0.000	2	0.982	0.64	12	722535.88	9676156.26	Antenas	A	semirurbano	bajo	736-739-741-																																																																																					
13	63.9	3531.4	2584	6890.6	1.42	2	0.169	0.166	0.000	0.000	2	0.762	0.496	13	722535.88	9676156.26	Antenas	A	semirurbano	bajo	737-739-742-																																																																																					
14	41.9	4134.4	2497.9	7149	1.19	1	0.108	0.000	0.000	0.000	1	0.448	0.59	14	722535.88	9676156.26	Antenas	A	semirurbano	bajo	738																																																																																					
15	43.6	2756.2	2594	6546	1.259	1	0.081	0.000	0.000	0.000	1	0.577	0.577	15	722535.88	9676156.26	Antenas	A	semirurbano	bajo	738																																																																																					
16	74.5	2584.6	2239.5	7924.2	1.261	2	0.086	0.135	0.000	0.000	3	0.691	0.459	16	722535.88	9676156.26	Antenas	A	semirurbano	bajo	745-746-747																																																																																					
17	47.6	4134.4	2411.7	8010.4	1.85	3	0.123	0.123	0.137	0.000	3	1.161	0.551	17	722535.88	9676156.26	Antenas	A	semirurbano	bajo	746-747																																																																																					
18	60.3	2498	2411	6876.8	1.196	1	0.930	0.000	0.000	0.000	1	0.546	0.512	18	722535.88	9676156.26	Antenas	A	semirurbano	bajo	747																																																																																					
19	68.8	4737.3	3275	9855.5	1.347	2	0.103	0.109	0.091	0.000	3	0.809	0.54	19	721469.88	9678004.76	10 de agosto	C	urbano	alto	749																																																																																					
20	60.2	2153	2239.5	6890.8	1.875	3	0.163	0.090	0.000	0.000	3	1.066	0.753	20	723858	9678207	El paraíso	E	semirurbano	mediano	755-756																																																																																					
21	66.7	2411.7	2584	6201.6	1.854	3	0.150	0.141	0.113	0.000	3	1.237	0.522	21	723858	9678207	El paraíso	E	semirurbano	mediano	757																																																																																					
22	68.2	2670.1	2239.5	7838.1	1.833	3	0.125	0.082	0.037	0.105	4	1.185	0.553	22	723858	9678207	El paraíso	E	semirurbano	mediano	757																																																																																					
23	41.2	2153.3	2756.2	6546.1	1.396	3	0.135	0.085	0.133	0.000	3	0.822	0.481	23	728780.71	9687300.97	Llacao Jacarín	M	rural	bajo	760																																																																																					
24	39.6	3617.6	2325.6	6287.7	1.536	3	0.113	0.140	0.085	0.000	3	1.03	0.44	24	728780.71	9687300.97	Llacao Jacarín	M	rural	bajo	760																																																																																					
25	57.3	1464.3	2325.6	5770.9	1.608	3	0.165	0.141	0.165	0.000	3	0.978	0.369	25	728780.71	9687300.97	Llacao Jacarín	M	rural	bajo	761																																																																																					
26	42.9	2411.7	2584	8354.9	1.476	3	0.045	0.123	0.069	0.000	3	0.762	0.627	26	728780.71	9687300.97	Llacao Jacarín	M	rural	bajo	761																																																																																					
27	45.8	2756.2	2842.4	7838.1	1.681	2	0.134	0.099	0.000	0.000	2	1.01	0.544	27	724639.19	9679865.08	Totoracocho	C	urbano	alto	767																																																																																					
28	61.6	2842.4	3359.2	6890.6	1.074	2	0.146	0.017	0.000	0.000	2	0.549	0.516	28	721879.93	9687860.24	Parque de la madre	D	urbano	mediano	768-769																																																																																					
29	60.5	2842.4	2928.5	7924.2	1.983	2	0.178	0.052	0.000	0.000	2	1.202	0.726	29	721879.93	9687860.24	Parque de la madre	D	urbano	mediano	770-771																																																																																					
30	59.4	3273	3186	7666.5	1.741	2	0.171	0.131	0.000	0.000	2	0.935	0.663	30	721879.93	9687860.24	Parque de la madre	D	urbano	mediano	772																																																																																					
31	49.5	2497.9	2928.5	6460	1.737	2	0.231	0.064	0.000	0.000	2	0.758	0.847	31	721879.93	9687860.24	Parque de la madre	D	urbano	mediano	773																																																																																					
32	57.9	2239.5	2928.5	6979.8	1.486	3	0.096	0.068	0.068	0.000	3	0.956	0.39	32	723466.75	9677994.22	El paraíso 2	E	semirurbano	mediano	774																																																																																					
33	56.3	2497.9	3273	7752	1.432	2	0.090	0.041	0.000	0.000	2	0.529	0.865	33	723466.75	9677994.22	El paraíso 2	E	semirurbano	mediano	775-776																																																																																					
34	57.2	1378.1	2582.6	8182.6	1.346	2	0.125	0.083	0.000	0.000	2	0.824	0.45	34	723466.75	9677994.22	El paraíso 2	E	semirurbano	mediano	783																																																																																					
35	46.9	2584	2842.4	7407.4	1.585	3	0.109	0.139	0.163	0.000	3	0.938	0.508	35	723466.75	9677994.22	El paraíso 2	E	semirurbano	mediano	784																																																																																					
36	69.3	2325.6	2928.5	7752	1.457	2	0.125	0.030	0.000	0.000	2	0.432	0.985	36	723466.75	9677994.22	El paraíso 2	E	semirurbano	mediano	785																																																																																					
37	76.7	2670.1	2670.1	6890.6	1.482	2	0.128	0.139	0.000	0.000	2	0.947	0.518	37	722679.31	9678348.89	Pumapungo	E	semirurbano	mediano	789																																																																																					
38	78.3	1981.1	2842.4	6201.6	1.845	2	0.101	0.035	0.000	0.000	2	1.224	0.617	38	734673.06	9679650.36	Cojitambo	M	semirurbano	mediano	791-792																																																																																					
39	75.9	2584	2497.9	6632.2	1.429	3	0.136	0.072	0.083	0.000	3	0.873	0.514	39	721507.06	9677580.26	Av. 27 de febrero	N	urbano	alto	793																																																																																					
40	73	3186.7	2670	7493.6	1.47	2	0.192	0.089	0.000	0.000	2	0.923	0.43	40	722679.31	9678348.89	Pumapungo	E	semirurbano	mediano	909																																																																																					
41	80.7	2670.1	2497.9	7665.8	1.986	2	0.077	0.114	0.000	0.000	2	0.942	0.938	41	721789.4	9679524.75	Parque Calderón	C	urbano	alto	795																																																																																					
42	82.8	3273	2411.7	8096.5	1.827	2	0.151	0.060	0.000	0.000	2	0.771	0.953	42	721789.4	9679524.75	Girón	C	urbano	alto	796																																																																																					
43	79.4	2670.1	2497.9	7493.6	1.585	2	0.119	0.087	0.000	0.000	2	0.79	0.691	43	721789.4	9679524.75	Girón	C	urbano	alto	796																																																																																					
44	63.1	2842.4	2756.2	8672.9	1.622	2	0.224	0.075	0.000	0.000	2	0.998	0.544	44	722404.87	9678142.22	solano	C	urbano	alto	797																																																																																					
45	64.7	2670.1	3100.8	6546.1	1.633	2	0.221	0.080	0.000	0.000	2	0.816	0.758	45	722404.87	9678142.22	solano	C	urbano	alto	797																																																																																					
46	80.7	2239.5	3014.6	8010.4	1.872	2	0.149	0.157	0.000	0.000	2	0.652	0.94	46	722404.87	9678142.22	Paucarbamba	G	urbano	mediano	798																																																																																					
47	74.5	2670.1	3617.6	7062.9	1.487	2	0.074	0.009	0.000	0.000	2	0.94	0.525	47	722404.87	9678142.22	Paucarbamba	G	urbano	mediano	798																																																																																					
48	73.6	3186.9	2584	7665.8	1.745	2	0.079	0.118	0.011	0.000	3	0.744	0.975	4																																																																																												



Tabla 7. Ejemplo de datos clasificados individualmente con cada una de sus variables.

Indiv	Nro	Elem	Begin_Ti	End_Tim	Long_Car	Low_Frec	High_Fre	BW_90	IQR_BW	PFC_Max	PFC_Min	PFC_Num_Ir	ts
1	1	1	5.557	5.812	0.255	3842	4710.7	172.3	86.1	4565	3962.1	9	
1	1	pre	5.821	6.288	0.467	2004.5	7149.5	3273	1808.8	6976.8	2153.3	9	
1	1	trill	6.339	6.845	0.506	3407.7	6113.9	1550.4	947.5	5340.2	3445.3	30	
1	1	full	5.545	6.858	1.313	1904.3	7383.4	2584	1205.9	6976.8	1981.1	58	
1	2	1	12.58	12.716	0.136	3975.7	4543.6	86.1	86.1	4392.8	4306.6	1	
1	2	pre	12.797	13.29	0.493	2171.6	7350	2842.4	689.1	7062.9	2325.6	2	
1	2	trill	13.337	13.927	0.59	3073.6	6481.4	1550.4	1033.6	5598.6	3273	34	
1	2	full	12.563	13.94	1.377	2104.8	7550.5	2153.3	1292	7062.9	2153.3	53	
1	3	1	18.385	18.589	0.204	4142.7	4543.6	172.3	86.1	4392.8	4306.6	9	
1	3	pre	18.623	19.112	0.489	2305.2	7249.8	3014.6	1119.7	7149	2411.7	5	
1	3	trill	19.188	19.711	0.523	3207.3	6648.4	1464.3	1033.6	5598.6	3359.2	29	
1	3	full	18.39	19.724	1.334	2305.2	7283.2	2153.3	1119.7	7149	2325.6	55	
1	4	1	27.303	27.46	0.157	4109.3	4911.1	172.3	86.1	4478.9	4306.6	2	
1	4	pre	27.532	28.025	0.493	2271.8	7283.2	2928.5	1205.9	7149	2325.6	3	
1	4	trill	28.068	28.603	0.535	3274.1	6848.9	1464.3	947.5	5598.6	3359.2	33	
1	4	full	27.303	28.599	1.296	2271.8	7283.2	2067.2	1033.6	7149	2325.6	50	
2	1	1	8.994	9.084	0.09	2739.5	5278.6	1722.7	775.2	5081.8	2928.5	7	
2	1	2	9.143	9.215	0.072	4978	7116.1	1292	516.8	6804.5	5512.5	1	
2	1	pre	9.305	9.848	0.543	2472.3	5111.6	1722.7	1119.7	4823.4	2584	17	
2	1	trill	9.921	10.371	0.45	3274.1	7750.9	2756.2	1550.4	7407.4	3531.4	38	
2	1	full	8.99	10.38	1.39	2438.9	7884.5	3617.6	1292	7407.4	2497.9	83	
2	2	1	14.838	14.936	0.098	2672.7	5312	1981.1	1033.6	4995.7	2756.2	4	
2	2	2	14.978	15.063	0.085	4276.4	7015.9	1550.4	689.1	6632.2	4392.8	0	
2	2	pre	15.152	15.692	0.54	2405.5	4810.9	1636.5	775.2	4737.3	2670.1	3	
2	2	trill	15.79	16.282	0.492	3207.3	7617.3	2584	1033.6	7579.7	3531.4	45	
2	2	full	14.77	16.299	1.529	2171.6	8285.5	3445.3	1119.7	7579.7	2239.5	83	
2	3	1	20.754	20.831	0.077	2641.4	5091.4	1808.8	861.3	4995.7	2928.5	4	

## Neysser Alegría

Tabla 8. Diferencias entre sitios por las variables ambientales (Todas los registros de mE, mS corresponden a las Coordenadas WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S).

Población	Nombre_localidad	Nro. Indiv	Ruido_antrop	Hábitat	mE	mS
A	Antenas	8	bajo	semiurbano	722535.88	9676156.26
E	El paraíso 2	5	mediano	semiurbano	723466.75	9677994.22
L	San Sebastián	5	alto	urbano	721052.65	9679738.34
R	9 de Octubre	4	bajo	rural	805870.48	9754364.91
A	Autopista	4	bajo	semiurbano	721861	9677135
D	Estadio	4	mediano	urbano	721746.9	9678506.54
L	La isla	4	mediano	semiurbano	721978.07	9677404.5
M	LLacac Jacarín	4	bajo	rural	728780.71	9687300.97
D	Parque de la madre	4	mediano	urbano	721879.93	9678760.24
G	Paucarbamba	4	mediano	urbano	722404.87	9678142.22
E	El paraíso	3	mediano	semiurbano	723858	9678207
N	Mercado 27 de Febrero	3	alto	urbano	721479.52	9677889.75
L	San Sebastián 2	3	alto	urbano	721075.38	9679730.18
S	Y de sayausí	3	mediano	semiurbano	721861	9677135
M	Bulán (mariposa)	2	mediano	semiurbano	747893.73	9697925.43
C	Girón	2	alto	urbano	721789.4	9679524.75
A	Hospital del río	2	bajo	semiurbano	726804.82	9680120.34
S	Puertas del sol	2	alto	urbano	722404.87	9678142.22
E	Pumapungo	2	mediano	semiurbano	722679.31	9678348.89
C	Solano	2	alto	urbano	722404.87	9678142.22
C	10 de Agosto	1	alto	urbano	721469.88	9678004.76
N	Av. 27 de febrero	1	alto	urbano	721507.06	9677580.26
S	Baños	1	bajo	semiurbano	715199.86	9676835.91
M	Cojitambo	1	mediano	semiurbano	734673.06	9694650.36
C	Parque Calderón	1	alto	urbano	721789.4	9679524.75
Q	Pintag	1	bajo	rural	790219	9956768
S	Racar	1	alto	urbano	718175.18	9682742.03
S	San Joaquín	1	bajo	rural	721861	9677135
C	Solano 2	1	alto	urbano	721450.1	9678329.93
S	Tercera Zona Militar	1	alto	urbano	722404.87	9678142.22
C	Totoracocha	1	alto	urbano	724639.19	9679865.08
A	Turi	1	bajo	rural	721271.16	9676681.52
11 poblac	32 sitios	82 ind				

Tabla 9. Prueba ANOVA por hábitat.

	Pre					
Long_Canto	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	0.912	0.4561	25.06	1.11e-10	***
Residuals	261	4.751	0.0182			
PFC_Min_Freq	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	34037578	17018789	18.15	4.15e-08	***
Residuals	261	244684761	937490			
PFC_Max_Freq	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	58105684	29052842	16.28	2.18e-07	***
Residuals	261	465801199	1784679			
BW_90	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	5016924	2508462	3.048	0.0491	*
Residuals	261	214792990	822962			
IQR_BW	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	558336	279168	1.391	0.251	
Residuals	261	52390846	200731			
PFC_Num_Inf_Pts	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	359	179.50	3.56	0.0298	*
Residuals	261	13160	50.42			
	Trino					
Long_Canto	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	0.434	0.21719	5.114	0.00663	**
Residuals	261	11.084	0.04247			
PFC_Min_Freq	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	727891	363946	4.354	0.0138	*
Residuals	261	21818088	83594			
PFC_Max_Freq	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	16285062	8142531	13.44	2.79e-06	***
Residuals	261	158144123	605916			
BW_90	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	7658539	3829270	14.04	1.62e-06	***
Residuals	261	71179607	272719			
IQR_BW	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	2502106	1251053	7.664	0.000583	***
Residuals	261	42604595	163236			
PFC_Num_Inf_Pts	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Habitat	2	3252	1626.2	4.182	0.0163	*
Residuals	261	101499	388.9			

	Full					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Long_Canto						
	Habitat	2	0.093	0.04641	0.818	0.442
	Residuals	260	14.751	0.05674		
PFC_Min_Freq						
	Habitat	2	6422461	3211230	20.62	4.89e-09 ***
	Residuals	260	40498948	155765		
PFC_Max_Freq						
	Habitat	2	12123260	6061630	9.317	0.000124 ***
	Residuals	260	169158977	650611		
BW_90						
	Habitat	2	8129101	4064550	9.512	0.000103 ***
	Residuals	260	111094262	427286		
IQR_BW						
	Habitat	2	225441	112720	0.822	0.441
	Residuals	260	35655729	137137		
PFC_Num_Inf_Pts						
	Habitat	2	5203	2601.4	4.401	0.0132 *
	Residuals	260	153674	591.1		