

VARIACIÓN EN EL CANTO DE *Pitangus sulphuratus* 1

**Variación de atributos acústicos en el canto del suboscino *Pitangus sulphuratus* (Aves :
Passeriformes : Tyrannidae) en relación al ruido ambiental en el área metropolitana de
Bucaramanga, Santander, Colombia**

Rafael Eduardo Vargas Escobar

Trabajo de grado para optar el título de biólogo

Director:

**José Gregorio Moreno Patiño, M.Sc.
M.Sc. En Ciencias Biológicas**

Codirector:

**Alejandro Ariel Ríos-Chelén, Ph.D.
Ph.D. En Ciencias**

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2021

Agradecimientos

Hay varias personas a las que quiero agradecer en este trabajo, personas que de una u otra manera me apoyaron en su ejecución, empezando con mis directores, el profesor José Gregorio Moreno Patiño y el Dr. Alejandro Ariel Ríos-Chelén, por aceptar mi idea proyecto y orientarla, así como por compartirme sus conocimientos e invaluable asesoría.

A mi madre Alexandra Escobar Salcedo y mi padre Guillermo Vargas Pieschacón, mi hermana Laura Juliana Vargas Escobar y mi hermano José David Vargas Escobar por su apoyo incondicional en toda mi etapa universitaria.

A mi novia María Angélica Lizarazo Viviescas, por su apoyo y curiosidad en todo este proyecto, así como a toda su familia por proporcionarme un espacio para escribir una buena parte de este documento durante la etapa más convulsa de este año.

A mis amigos Oscar Andrés Nuñez, por su inestimable enseñanza, a Nicolás Faday Castro por su acompañamiento en campo, a Cristian Cadena y Wilmar Ramírez por sus consejos a la hora de escribir.

Al señor Eugenio Herrera por su acompañamiento en la localidad más difícil.

A la familia Gil Olaya por brindarme el espacio para poder verificar las grabaciones.

Finalmente, quiero agradecer a la Universidad Industrial de Santander, Servicio Nacional de Aprendizaje, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, Sociedad de Mejoras Públicas, Centro de Ferias y Eventos de Bucaramanga, Club Unión, Parque Recrear Juan Pablo II, Hostal Cactus y las administraciones de los conjuntos residenciales La Arboleda y Castilla La Nueva por permitirme ingresar a sus instalaciones a la hora de grabar.

Tabla de contenido

Introducción.....	10
1. Objetivos.....	12
1.1. Objetivo General.....	12
1.2. Objetivos específicos.....	12
2. Cuerpo del trabajo.....	13
2.1. Marco referencial.....	13
2.1.1. Generalidades del canto de las aves:.....	13
2.1.2. Componentes del canto de las aves:.....	14
2.1.3. Ruido ambiental en entornos urbanos:.....	14
2.1.4. Modulación del canto en ambientes urbanos:.....	15
2.1.5. Modulación del espectro:.....	15
2.1.6. Modulación de la estructura:.....	16
2.1.7. Ontogenia del canto:.....	17
2.1.8. <i>Pitangus sulphuratus</i> como sujeto de estudio.....	18
2.2. Método.....	19
2.2.1. Toma de datos.....	19
2.2.1.1. Sitios de estudio.....	19
2.2.1.2. Grabación de las vocalizaciones de <i>Pitangus sulphuratus</i>	21
2.2.1.3. Registro de datos de ruido ambiental.....	22
2.2.1.4. Registro de datos de amplitud del canto.....	22
2.2.2. Análisis de los datos.....	23
2.2.2.1. Análisis de amplitud del canto.....	23
2.2.2.2. Análisis de las grabaciones.....	24

VARIACIÓN EN EL CANTO DE *Pitangus sulphuratus* 4

2.2.2.3. Visualización de los espectrogramas.....	24
2.2.2.4. Atributos acústicos examinados.....	25
2.2.3. Grabaciones saturadas.....	27
2.2.4. Análisis estadístico.....	30
2.2.4.1. Variables correlacionadas.....	30
2.2.4.2. Modelos lineales.....	31
2.3. <i>Resultados</i>	32
2.3.1. Modelos lineales.....	32
2.3.1.3. Frecuencia pico.....	34
2.3.1.4. Nivel del canto.....	35
2.3.2. Análisis de varianza (ANOVA):.....	36
2.4. Discusión.....	37
3. Conclusiones.....	39
4. Recomendaciones.....	40
Referencias bibliográficas.....	41

Lista de tablas

Tabla 1. Localidades dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	20
Tabla 2. Prueba de T pareada para atributos acústicos entre grabaciones saturadas y no saturadas.....	27
Tabla 3. Factor de inflación de la varianza (VIF) entre variables independientes.....	29
Tabla 4. Correlaciones entre atributos acústicos.....	30
Tabla 5. Resumen de los modelos lineales generales para los atributos acústicos seleccionados	31

Lista de figuras

Figura 1. Localidades dentro del área metropolitana de Bucaramanga en orden cronológico	20
Figura 2. Llamado y canto de <i>P. sulphuratus</i>	25
Figura 3. Oscilogramas de una grabación saturada y no saturada.....	27
Figura 4. Espectrogramas de un canto saturado y uno no saturado.....	29
Figura 5. Tasa de cantos en función del nivel de ruido ambiental.....	33
Figura 6. Tasa de cantos en función de la fecha y la hora.....	33
Figura 7. Duración del canto en función del nivel de ruido, fecha y hora.....	34
Figura 8. Frecuencia pico en función del nivel de ruido, fecha y hora.....	35
Figura 9. Nivel del canto en función del nivel de ruido, fecha y hora.....	36

Lista de apéndices

**(Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca
UIS)**

Apéndice A. Base de datos de los individuos registrados

Apéndice B. Grabaciones

Apéndice C. Espectrogramas de los cantos

Apéndice D. Grabaciones de la prueba de T pareada

Apéndice E. Promedios ponderados usados en el análisis

Resumen

Título: Variación de atributos acústicos en el canto del suboscino *Pitangus sulphuratus* (Aves : Passeriformes : Tyrannidae) en relación al ruido ambiental en el área metropolitana de Bucaramanga, Santander, Colombia.*¹

Autor: Rafael Eduardo Vargas Escobar **

Palabras Clave: Bioacústica, suboscino, passeriformes, canto, ruido ambiental.

Descripción: Las aves passeriformes que habitan en las ciudades despliegan diversas estrategias para enfrentar el nivel de ruido propio de estos ambientes, estrategias bastante estudiadas en oscinos en contraste con los suboscinos. Para este trabajo se registraron cantos de 18 ejemplares de Bichofué (*Pitangus sulphuratus*) en diferentes puntos del área metropolitana de Bucaramanga, así como datos de ruido ambiental en los momentos en los que cada individuo fue registrado con el objetivo de encontrar relación entre diferentes atributos acústicos de su canto y el nivel de ruido ambiental, así mismo se tuvieron en cuenta la fecha y la hora en las que se hicieron las grabaciones. Se encontró que esta especie canta con una mayor tasa de cantos en ambientes ruidosos sin comprometer la duración de éstos. No se encontró relación entre el nivel de ruido ambiental y la frecuencia pico o la duración del canto, así como tampoco se encontró evidencia del Efecto Lombard en esta especie, tampoco se encontró que se relacionaran con la fecha y la hora, considerando que algunas fechas en las que se grabó coincidían con la temporada de reproducción de estas especie. Se compararon estos resultados con lo encontrado en otras especies de aves para poder explicar lo hallado en este estudio.

¹ (*) Trabajo de grado

(**) Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: José Gregorio Moreno Patiño, M.Sc. Codirector: Alejandro Ariel Ríos-Chelén, Ph.D.

Abstract

Título: Evaluating associations between ambient noise and acoustics attributes of *Pitangus sulphuratus* (Aves: Passeriformes: Tyrannidae) songs in Colombia.*²

Author: Rafael Eduardo Vargas Escobar**

Keywords: Bioacoustics, suboscine, passeriformes, song, background noise.

Description: Passerine birds that inhabit cities use various strategies to deal with urban noise, those strategies have been extensively studied on oscine passerines but very little on suboscines passerines. In this project we recorded songs of 18 individuals of Great Kiskadee (*Pitangus sulphuratus*) on different places within Bucaramanga's metropolitan area, Colombia. Also, we recorded background noise at the same time individuals were singing to evaluate a possible association between background noise and some acoustic attributes of Great Kiskadee songs, also, we evaluate a possible association between those acoustic attributes and date and time of the day when recordings were made. Great Kiskadee sang at a higher rate on noisier places; we found no association between noise level and song length and song's peak frequency. We found no evidence of Lombard Effect on this suboscine and we found no association between those acoustic attributes (song rate, song's peak frequency and song length) and date and time of the day, in despite some recordings were made coincide with Great Kiskadee's breeding season. We compared our results with the findings on other bird species to explain our findings.

² (*) Degree work

(**) Science Faculty. Biology School. Director: José Gregorio Moreno Patiño, M.Sc. Co-director: Alejandro Ariel Ríos-Chelén, Ph.D.

Introducción

El ruido urbano puede interferir con las señales acústicas de las aves, disminuyendo la posibilidad de discriminarlas de otras señales sonoras (Brumm, 2013); esta interferencia puede deberse al nivel de sonido del ruido urbano (Slabbekoorn y Ripmeester, 2008), o por solapamiento de frecuencias, particularmente en señales acústicas de tono bajo, lo que se conoce como enmascaramiento acústico (Francis *et al.*, 2011, Brumm, 2013). Las aves utilizan diferentes mecanismos para transmitir sus señales acústicas (p. ej. Aumento de la frecuencia mínima y/o amplitud del canto, aumento en la tasa de cantos, aumento en el número de elementos y disminución en el número de sílabas) (Brumm, 2013; Ríos-Chelén *et al.*, 2013; Ríos-Chelén *et al.*, 2015), especialmente en entornos con altos niveles de ruido ambiental (Brumm, 2004; Slabbekoorn y Peet, 2003; Hu y Cardoso, 2010; Luther *et al.*, 2016). La mayoría de estudios de vocalizaciones en aves passeriformes se han realizado en oscinos (Suborden Passerii) en contraste con los suboscinos (Suborden Tyrannii) (Tobias *et al.*, 2012), a pesar de que los cantos de estos últimos son simples e innatos (Kroodsma, 1984), lo cual elimina el aspecto de evolución cultural por medio del aprendizaje del canto, simplificando el estudio de cómo el ruido ambiental afecta el canto (Tobias *et al.* 2012). El Bichofué (*Pitangus sulphuratus*) (Tyrannii: Tyrannidae) es un suboscino residente, de amplia distribución en Colombia y frecuente en ambientes urbanos, suburbanos, agroforestales y bosques secundarios, desde los 1500 a los 2600 m.s.n.m. (Hilty y Brown, 1986; Avendaño, 2017; Ayerbe-Quiñones 2018; McMullan *et al.*, 2018), además de ser un ave generalista y adaptable a ambientes urbanos (Ramirez-Albores *et al.*, 2016). La nota fundamental del canto de *P. sulphuratus* se encuentra en frecuencias de 1 a 2 kHz (Amador *et al.*, 2008), razón por la cual es una especie apropiada para el presente estudio debido a que su canto puede ser

enmascarado por el ruido ambiental en áreas urbanas, que normalmente se encuentra en frecuencias por debajo de 2.5 kHz (Wood y Yezerinac, 2006; Gill *et al.*, 2015). Sobre el Bichofué existen vacíos de conocimiento sobre los ajustes vocales ante altos niveles de ruido urbano (Mendoza y Arce-Plata, 2012; Ríos-Chelén *et al.*, 2012) . Con el presente estudio se espera responder la siguiente pregunta: ¿Varían algunos atributos acústicos del canto de *Pitangus sulphuratus* con respecto al nivel ruido ambiental?, cuyos resultados contribuirán al conocimiento de la comunicación vocal de las aves suboscinas.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Determinar si hay una relación entre el ruido ambiental y atributos del canto en *Pitangus sulphuratus*.

1.2. Objetivos específicos

Identificar diferencias a nivel de frecuencia en el canto de *P. sulphuratus* en un gradiente de ruido urbano.

Identificar diferencias a nivel de amplitud en el canto *P. sulphuratus* en un gradiente de ruido urbano.

Comprobar si existe correlación entre la duración del canto con respecto al nivel de ruido ambiental.

2. Cuerpo del trabajo

2.1. Marco referencial

2.1.1. Generalidades del canto de las aves:

Las señales acústicas de origen vocal constituyen una forma de comunicación en las aves passeriformes; éstas son generadas por la siringe, un órgano presente en la tráquea de las aves y que divide a ésta en dos bronquios (Lovette y Fitzpatrick, 2016), la cual presenta en su interior unas estructuras llamadas membranas timpaniformes que vibran cuando el aire procedente de los pulmones pasa por ellas, generando ondas de sonido (Catchpole y Slater 2008; Bradbury y Vehrencamp, 2011). Estas señales no son el único canal de comunicación de éstas aves dado que también se comunican mediante señales visuales, por ejemplo el color del plumaje o movimientos especiales (Ríos-Chelén y Macías-García, 2004; Catchpole y Slater, 2008) y, en menor grado, por señales químicas (Catchpole y Slater, 2008). Además de señales acústicas de origen vocal, las aves también emplean sonidos de origen no vocal (p. ej. Golpes contra los troncos o sonidos generados con el plumaje) (Lovette y Fitzpatrick, 2016). las señales acústicas se pueden transmitir de forma efectiva en hábitats muy densos o poco iluminados (Catchpole y Slater, 2008) y son empleadas por las aves passeriformes principalmente para dos propósitos: la defensa del territorio y la atracción de pareja (Lovette y Fitzpatrick, 2016). En este último caso son los machos los que suelen emitir señales acústicas; sin embargo las hembras, especialmente de aves cantoras neotropicales y al menos 100 especies cantoras europeas, también emiten estas señales, generalmente descritas como menos complejas en relación a las de los machos (Catchpole y Slater, 2008), siendo utilizadas para el reconocimiento de la pareja y en la defensa cooperativa del territorio (Bradbury y Verehncamp, 2011) o para comunicar su disponibilidad y condición física (Lovette y Fitzpatrick, 2016).

2.1.2. Componentes del canto de las aves:

Los sonidos vocales en passeriformes se suelen distinguir como canto y como llamado; la distinción entre ambos depende de la duración y complejidad de las vocalizaciones (Moghal *et al.*, 2015), los cantos son, generalmente, tonos puros modulados en frecuencia y amplitud, en contraste con los llamados, que no son tonos puros (Baker, 2001). Al observar los cantos en un espectrograma se distinguen diferentes elementos, siendo las frases los más notorios, las cuales están conformadas por una serie de elementos, usualmente llamados sílabas, las cuales pueden ser simples (conformadas por un único elemento visible) o complejas (Catchpole y Slater, 2008). Cuando son complejas se componen de unas sub-unidades llamadas notas o elementos, los cuales se definen como líneas continuas en el espectrograma (Baker, 2001, Catchpole y Slater, 2008).

2.1.3. Ruido ambiental en entornos urbanos:

Las señales acústicas no son ajenas a factores que puedan afectar negativamente su transmisión y recepción (Catchpole & Slater, 2008), siendo el ruido ambiental o “ruido de fondo” (*Background noise*) uno de los factores que puede limitar el área de transmisión o espacio activo de estas señales (Brumm y Slabbekoorn, 2005), el cual puede enmascarar las señales acústicas emitidas por las aves, comprometiendo las funciones principales de dichos sonidos (Brumm, 2004).

El ruido ambiental se refiere a cualquier sonido que sea irrelevante en la comunicación entre un emisor y un receptor particular (Luther y Gentry, 2013). El ruido acústico es una percepción subjetiva del sonido, con variación interespecífica e intraespecífica (Ortega, 2012), además de ser un fenómeno relacionado a la naturaleza, teniendo diferentes fuentes de origen, ya sean abióticas, como el viento, la lluvia o las caídas

de agua y ríos o bióticas como lo serían los sonidos emitidos por diferentes animales (Brumm, 2004; Casas-García *et al.*, 2015). El ruido ambiental presenta dos características básicas: la intensidad, generalmente expresado en escala logarítmica teniendo como unidad el Bel o, comúnmente el Decibel ($1 \text{ dB} = 1/10 \text{ Bel}$) (Giancoli, 2007) y el rango de frecuencias que ocupa, expresado en Hertz (Hz) o Kiloherz ($1 \text{ kHz} = 1000 \text{ Hz}$). En ambientes urbanos podemos encontrar sonidos de origen antropogénico, muchos de los cuales pueden interferir con la recepción y discriminación de otros sonidos, lo que constituye la llamada “contaminación acústica” (Ortega, 2012). El ruido de origen antrópico se encuentra, generalmente, en frecuencias por debajo de 2.5 kHz además que es de alta intensidad, la cual varía dependiendo del espacio en que se encuentren las fuentes que lo emiten o la hora del día (Slabbekoorn y Ripmeester, 2008; Luther y Gentry, 2013; Gill *et al.*, 2015), siendo las ciudades, por ejemplo, más ruidosas en horas pico (Casas-García *et al.*, 2015).

2.1.4. Modulación del canto en ambientes urbanos:

Las aves passeriformes presentes en entornos urbanos y semiurbanos despliegan diversos repertorios en respuesta ante el ruido propio de estos ambientes, usualmente de nivel alto y de tono bajo (Slabbekoorn y Ripmeester, 2008), ya sea modulando el espectro de su canto (Brumm, 2004; Luther *et al.*, 2017), modificando la estructura de éste (Ríos-Chelén *et al.*, 2013), o, simplemente evitando sitios ruidosos (McLaughlin y Kunc, 2013).

2.1.5. Modulación del espectro:

El espectro del canto puede ser ajustado por las aves presentes en ambientes ruidosos modulando su frecuencia (Slabbekoorn y Peet, 2003) o amplitud (Brumm, 2004). La frecuencia puede ser modulada por las aves, ya sea aumentando la frecuencia mínima de su

canto (Slabbekoorn y Peet, 2003; Bermúdez-Cuamatzin *et al.*, 2011; Luther *et al.*, 2016) o incrementando su frecuencia máxima o frecuencia pico (Cardoso y Atwell, 2011). Un ejemplo de las estrategias mencionadas se ha encontrado en el Pibí Oriental (*Contopus virens*) en donde se evidencia la capacidad de esta especie de modular espectralmente su canto, incrementando la tonalidad de sus cantos al aumentar la frecuencia mínima de éstos disminuyendo el ancho de banda de la señal emitida como respuesta al ruido del tráfico urbano (Gentry *et al.*, 2017).

Dentro de las modulaciones del espectro, la modulación de la amplitud de las vocalizaciones recibe el nombre de “Efecto Lombard” y es una respuesta involuntaria por parte del emisor de una señal acústica ante un incremento en la amplitud del ruido de fondo (Brumm y Zollinger, 2011), en la cual la amplitud del sonido emitido es ampliada. El efecto Lombardo se ha observado en aves passeriformes, como *Luscinia megarynchos*, el cual incrementa la amplitud de su canto en ambientes ruidosos (Brumm y Todt, 2002; Brumm, 2004); apodiformes como *Lampornis clemenciae*, donde se observó este fenómeno en condiciones ambientales y de laboratorio (Pytte *et al.*, 2003), además de anuros (Halfwerk *et al.*, 2016; Shen *et al.*, 2016) y mamíferos, incluyendo al ser humano (Brumm y Zollinger, 2011).

2.1.6. Modulación de la estructura:

La estructura del canto en entornos con altos niveles de ruido ambiental es modificada de diferentes maneras por las aves; una forma de modular la estructura implica incrementar la redundancia serial del canto, es decir, emitir más veces un tipo de canto antes de cambiar a otro tipo de canto (Brumm y Slater, 2006). Otras modificaciones en la estructura del canto realizadas por las aves implican adicionar elementos al canto, como es el caso del Titiribí

Pechirrojo (*Pyrocephalus rubinus*) donde se observó una correlación positiva entre el nivel de ruido y el número de elementos del canto (Ríos-Chelén *et al.*, 2013), o disminuir el número de sílabas de su canto como es el caso del Tordo Sargento (*Agelaius phoeniceus*) (Ríos-Chelén *et al.*, 2015).

2.1.7. Ontogenia del canto:

Algunos mecanismos mencionados anteriormente para modular el canto en condiciones ruidosas se relacionan con la ontogenia de éste (Ríos-Chelén *et al.*, 2012), aspecto que divide a los Passeriformes en dos subórdenes, Passerii y Tyrannii (Tobias *et al.*, 2012; Payevsky, 2014). El desarrollo del canto difiere en los dos subórdenes en los que se dividen las aves passeriformes, considerándose de forma general que en los passeriformes suboscinos (Suborden Tyrannii) el canto es innato (Kroodsma, 1984; Touchton *et al.*, 2014), o que el aprendizaje de éste es raro o ausente (Lovette y Fitzpatrick, 2016), en tanto que en los passeriformes oscinos (Suborden Passerii) el canto es aprendido (Kroodsma, 1984).

El aprendizaje del canto en los passeriformes, de forma general, empieza con una fase de memorización en la que el ave juvenil desarrolla un “subcanto” al escuchar a sus conespecíficos (Lovette y Fitzpatrick, 2016). El subcanto, altamente variable, es practicado por el ave juvenil, pasando a ser un canto plástico, mucho más parecido al canto que emiten los adultos de su respectiva especie hasta finalmente poder cristalizar el canto propio de su especie una vez alcanzada la madurez por parte del individuo (Catchpole y Slater, 2008). Este esquema del desarrollo del canto explica de forma general el proceso de aprendizaje en los passeriformes oscinos, los cuales difieren de los suboscinos en el grado de complejidad de sus siringes, teniendo más músculos asociados a ésta (Lovette y Fitzpatrick, 2016) y difiriendo, además, a nivel neurológico al presentar varios núcleos cerebrales encargados del

control de los músculos siríngeos (Kroodsma y Konishi, 1991; Amador *et al.*, 2008). En los suboscinos no se presentan dichos núcleos cerebrales relacionados al control de la siringe (Amador *et al.*, 2008). Sin embargo, en una especie passeriforme suboscina (*Sayornis phoebe*) se han encontrado algunos elementos neuronales relacionados con el control del canto y necesarios para el aprendizaje de este (Liu *et al.*, 2013).

La mayoría de estudios que relacionan el ruido ambiental con la modulación de atributos acústicos en el canto de Passeriformes se han realizado en oscinos (Tobías *et al.*, 2012), existiendo un vacío de conocimiento para los suboscinos (Ver Ríos-Chelén, 2009; Francis *et al.*, 2011; Tobias *et al.*, 2012; Gentry *et al.*, 2017) a pesar de la ontogenia del canto en éstos y la menor complejidad de éste (Ríos-Chelén y Macías- García, 2004; Ríos-Chelén, 2009; Tobias *et al.*, 2012;). Dentro de este grupo se encuentra la familia Tyrannidae, familia a la que pertenece la especie utilizada en el presente estudio.

2.1.8. *Pitangus sulphuratus* como sujeto de estudio

El Bichofué (*Pitangus sulphuratus*) es un ave generalista y adaptable a ambientes urbanos (Ramirez-Albores *et al.*, 2016) que se encuentra distribuido desde el sur de los Estados Unidos hasta el centro de Argentina (Meyer de Schauensee 1966, Howell y Webb 1995 en (Ramirez-Albores *et al.*, 2016)). El canto de esta especie está conformado por tres sílabas repetidas de forma invariable, las cuales son similares entre individuos y son producidas por ambos sexos (Amador *et al.*, 2008), los cuales tienen la capacidad de modular la amplitud del canto (Döppler *et al.*, 2020).

Las frecuencias fundamentales del canto de esta especie se encuentra en un rango de 1 a 2 kHz (Amador *et al.*, 2008), rango que puede ser enmascarado por el ruido ambiental en áreas urbanas (Wood y Yezerinac, 2006), el cual podría afectar la comunicación entre

individuos de esta especie (Roseti Lenis y Guillermo-Ferreira, 2019). Las frecuencias máximas del canto de esta especie oscilan pueden llegar a 6 kHz, siendo los cantos de frecuencias más altas los correspondientes a individuos que habitan entornos urbanos (Mendoza y Arce-Plata, 2002).

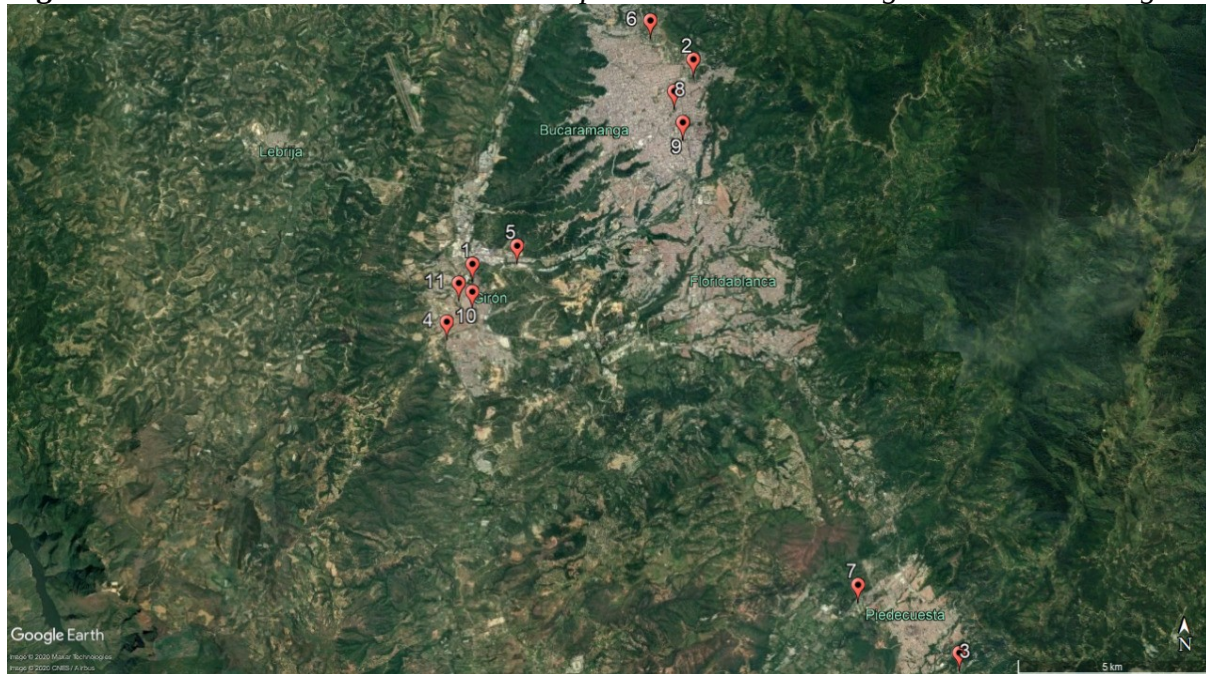
2.2. Método

2.2.1. Toma de datos

2.2.1.1. Sitios de estudio

El presente estudio se realizó en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Santander, la cual comprende los municipios de Girón, Floridablanca, Piedecuesta y la ciudad de Bucaramanga (Figura 1). Se muestrearon 11 localidades ubicadas en sectores urbanos entre el 04 de agosto del 2019 y el 17 de febrero del 2020. El nivel de ruido en las localidades visitadas varió entre los 45.44 dBa y los 69.58 dBa. Las localidades seleccionadas corresponden a sitios donde predominan construcciones y con áreas verdes que están dentro del área urbana de los municipios anteriormente mencionados (Conjuntos residenciales, clubes, centros industriales, campus universitario y parques) .

Figura 1. Localidades dentro del área metropolitana de Bucaramanga en orden cronológico



Nota: Los nombres y coordenadas de cada localidad se detallan en la Tabla 1.

Todas las localidades se designaron con un código que se colocó en cada una de las grabaciones correspondientes (Tabla 1):

Tabla 1. Localidades dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga

Número	Municipio	Código	Localidad	Latitud	Longitud
1	Girón	SENASO	Sede Social SENA	7,0783	-73,1673
2	Bucaramanga	PAGUA	Parque del Agua	7.1306	-73.1093
3	Piedecuesta	UCATAY	Catay	6.9771	-73.0405
4	Girón	PAGALI	Parque Gallineral	7.0626	-73.1738
5	Girón	CENFER	Centro de Ferias y Eventos de Bucaramanga	7.0825	-73.1553
6	Bucaramanga	UISC27	Campus Principal Universidad Industrial de Santander	7.1411	-73.1205
7	Piedecuesta	GUATIG	Parque Tecnológico Guatiguará	6.9947	-73.0660
8	Bucaramanga	PAMEPU	Parque Mejoras Públicas	7.1226	-73.1142
9	Bucaramanga	CLUNIO	Club Unión	7.1145	-73.1120
10	Girón	PAREJU	Parque Recrear Juan Pablo II	7.0705	-73.1671
11	Girón	CORELA	Conjunto Residencial La Arboleda	7.0728	-73.1706

2.2.1.2. Grabación de las vocalizaciones de *Pitangus sulphuratus*

Las grabaciones se realizaron entre las 0630 hr y las 1300 hr, a una distancia de 1m a 16m de los individuos que pudieran ser observados. La distancia se midió con un telémetro láser UNI-T UT391+ (Uni-Trend Technology Co., Ltd. China). Para grabar los cantos se utilizó una grabadora digital Tascam DR-40 Silver (TEAC AMERICA, INC. Montebello, California, USA) configurada a 16 bits de resolución y 44100 Hz de tasa de muestreo y equipada con un micrófono unidireccional Sennheiser ME66 (Sennheiser Electronic Corporation, Wedemark, Germany) equipado con escudo anti-viento Rycote Classic-Softie y una agarradera Rycote 33702 (Rycote Microphone Windshields Ltd. Gloucestershire, United Kingdom).

Sólo se grabaron individuos solitarios ($n= 18$). Una vez observado el individuo se procedió a encender la grabadora y apuntar el micrófono en dirección al ave para registrar todas las vocalizaciones que emitiera, mientras se encontrara posado en el punto en que se

avistó. Las grabaciones finalizaron una vez el ave se retiró del punto donde se observó (Tiempo de grabación promedio por individuo: 182.72 s, DE: +- 93.72).

2.2.1.3. Registro de datos de ruido ambiental

Se procedió a tomar datos del ruido ambiental (dBa) antes que el ave empezara a emitir vocalizaciones, así como durante los espacios de silencio entre cada vocalización y una vez el ave se hubiese retirado, apuntando en todo momento el decibelímetro en dirección del individuo que se estuviese grabando, para ello se utilizó un decibelímetro UNI-T UT 352 (Uni-Trend Technology Co., Ltd. China). El decibelímetro se configuró de la siguiente manera:

- **Weightening A:** Corresponde a la curva de ponderación A para medir el riesgo auditivo; los decibeles medidos por el sonómetro son ponderados a esta curva (dBa) y expresa un nivel sonoro global sin importar su composición en frecuencia (Meyer-Bisch, 2005).
- **Slow response:** Corresponde al tiempo máximo de detección del sonido (1s).
- **30-130 dB:** Corresponde al rango de decibeles (dB) que puede detectar el sonómetro utilizado.

2.2.1.4. Registro de datos de amplitud del canto

Debido a que el decibelímetro se apuntó en todo momento en dirección al ave avistada, se registraron los datos de amplitud (dBa) de los cantos que el individuo emitió en dirección al sonómetro siempre y cuando no hubiesen obstáculos entre el dispositivo y el ejemplar, como ramas o árboles, además de la ausencia de vientos fuertes, acorde a la

metodología utilizada por Brumm (2004), por lo cual no fue posible tomar estos datos en todos los individuos registrados para el presente estudio.

2.2.2. Análisis de los datos

2.2.2.1. Análisis de amplitud del canto

Una vez obtenidos los datos de ruido ambiental y de amplitud de los cantos de los individuos en los que fue posible obtenerlos se procedió a normalizarlos a una distancia estándar (1 m). Para ello se utilizó la fórmula propuesta por Brumm (2004), basado en la pérdida de sonido en propagación esférica:

$$L_{1m} = 20 \log d + L_d$$

Siendo d la distancia entre el ave y el decibelímetro y L_d la mediana del nivel del canto medido en la distancia d (Brum, 2004).

La fórmula anterior es equivalente a hallar el nivel del sonido (β) a una distancia r asumiendo como umbral de audición o intensidad de referencias (I_0) la medida mínima del decibelímetro (30 dBa); normalmente se asume como intensidad de referencia (I_0) 10^{-12}W/m^2 , el cual es el nivel de intensidad más bajo que puede percibir el oído humano (Giancoli, 2007), en este caso ambas medidas de referencia son válidas:

$$\beta = 10 \log (I/I_0)$$

Siendo I la intensidad del sonido a una distancia r ($I = P/4\pi r^2$) (Giancoli, 2007), la cual se halla, inicialmente reemplazando β por el valor dado por el sonómetro en la distancia a la cual grabamos el ave (r) y posteriormente hallando la potencia del sonido registrado en la distancia dada ($P = I * 4\pi r^2$) (Giancoli, 2007). Finalmente se halla la intensidad a 1m (I) reemplazando la distancia (r) por 1 y se encuentra el valor de intensidad del sonido (β) a 1 metro de distancia.

2.2.2.2. Análisis de las grabaciones

Las grabaciones obtenidas se analizaron utilizando el software Raven Pro 1.6.1 (Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, New York, USA) en un computador Toshiba Satellite L645 (Toshiba corporation, Edo, Tokio) con sistema operativo (SO) Ubuntu 16.04 LTS (Canonical Ltd. Londres, Reino Unido) de 64 bits.

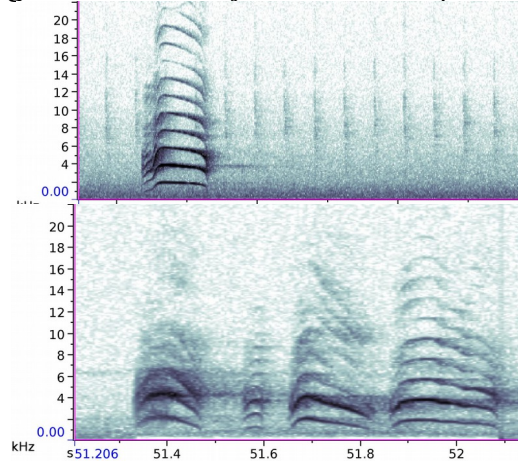
2.2.2.3. Visualización de los espectrogramas

Los espectrogramas se visualizaron en Raven Pro y se obtuvieron con los siguientes parámetros definidos previamente en el software, basados en la metodología utilizada por Ríos-Chelén *et al.* (2013) :

- Ventana: Hann
- Tamaño: 512 muestras (Samples)
- Ancho de banda de filtro a 3 dB (3dB Filter Bandwidth): 124
- Traslape (Overlap): 50

Se analizaron los cantos, tanto de 2 como de 3 sílabas, descartando del análisis los llamados (1 sílaba) y los cantos de 4 sílabas (Figura 2) debido a que éstos últimos fueron emitidos una única vez por dos individuos diferentes.

Figura 2. Llamado y canto de *P. sulphuratus*



Nota: Llamado de *P. sulphuratus* (Superior) y canto de 4 sílabas (Inferior) registrados en el presente estudio (Archivos: GUATIG_0008 y UCATAY_0003 respectivamente).

Se seleccionaron de forma aleatoria 5 cantos por individuo debido a que el número de cantos registrados para todos los ejemplares no fue el mismo ($\bar{x}=12.3333$, $S=8.7983$, {4, 36}). Para los individuos de los que se obtuvieron menos de 5 cantos (3 individuos de 18 ejemplares en total) se usó la totalidad de estos. Para todos los cantos seleccionados se definió como límite inferior 400 Hz en el espectrograma y se filtró el ruido ambiental en dicho rango de frecuencias mediante la herramienta “Filter Around Active Selection” en Raven Pro. Este rango de frecuencias fue elegido con el propósito de limpiar parte del ruido del espectro sin comprometer la información de los cantos.

2.2.2.4. Atributos acústicos examinados

Los siguientes atributos acústicos fueron obtenidos tanto para cada canto completo de 2 y 3 sílabas, así como para cada sílaba que lo compone:

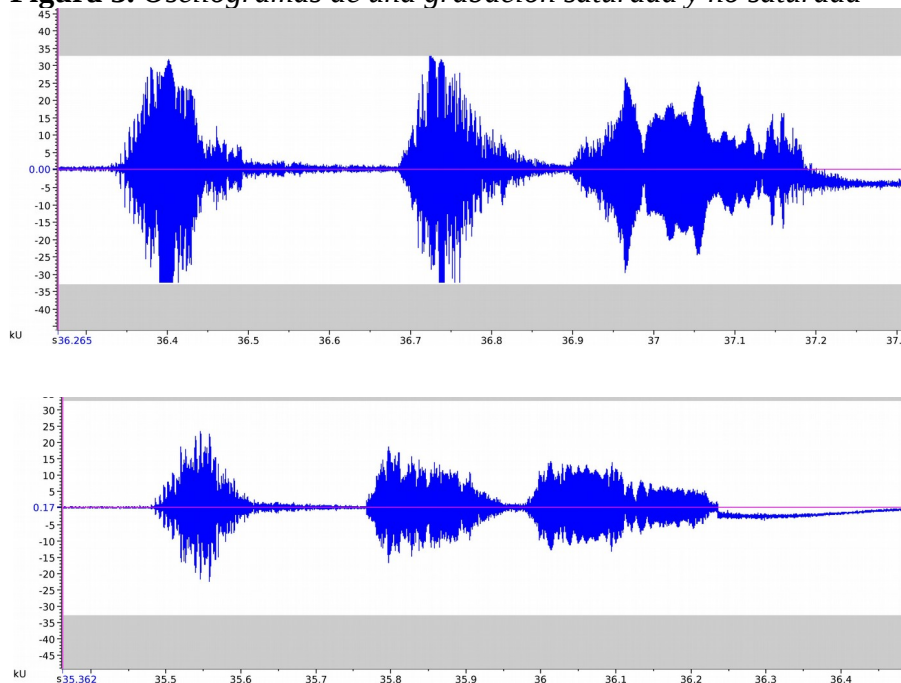
- **Número de elementos:** Corresponde al número de figuras individuales visibles en el espectrograma que componen el canto (Catchpole & Slater, 2008).

- **Frecuencia pico del canto (Peak Frequency):** Es la frecuencia donde se registra la mayor energía en el canto, medida en Hertz (Hz) (Charif *et al.*, 2010).
- **Duración (Delta Time):** Corresponde al tiempo de duración de una selección realizada dentro del espectrograma, medida en segundos (s) (Charif *et al.*, 2010). En el presente trabajo se midió para cada canto y para cada sílaba que lo compone.
- **Entropía promedio (Average Entropy):** La entropía es una medida que describe la cantidad de desorden de un sistema o una señal medida en bits, en otras palabras el grado de homogeneidad (Hanna *et al.*, 2011). En Raven Pro 1.6.1 corresponde al grado de desorden de un fragmento seleccionado del espectro medida en bits (Charif *et al.*, 2010), se midió tanto para cada canto como para cada sílaba.
- **Número de armónicos visibles:** Se contaron los armónicos visibles en el espectrograma para cada una de las sílabas que componen los cantos y se obtuvo un promedio de estos para cada individuo con el propósito de observar una relación entre el nivel de ruido ambiental y el número de armónicos considerando la capacidad de algunas aves de modular los armónicos de su canto (Riede *et al.*, 2006; Araya-Salas, 2018)
- **Frecuencia 5% y frecuencia 95%:** La frecuencia que divide la selección, tanto cantos completos como sílabas, en dos intervalos de frecuencia que, por debajo de estas frecuencias, contienen el 5% y el 95% de la energía en los cantos o sílabas sílabas seleccionadas (Ríos-Chelén *et al.*, 2017). Estos valores se promediaron para cada individuo. Estas frecuencias se expresan en Hertz (Hz) (Charif *et al.*, 2010).

2.2.3. Grabaciones saturadas

Debido a que se encontraron cantos saturados (35 cantos saturados de 86 cantos analizados en total) en algunas grabaciones (Figura 3) se procedió a realizar un experimento con el propósito de descartar aquellos atributos acústicos que resultaran significativamente afectados por la saturación. El experimento consistió en grabar 20 veces un único canto (10 veces saturándolo en la grabadora y 10 veces sin saturarlo) de 10 individuos diferentes reproduciendo dichas grabaciones en un altavoz y grabándolos a 10 m de distancia utilizando una grabadora TASCAM DR40 SILVER con un micrófono Sennheiser ME67 equipado con un módulo K6P. Posteriormente se obtuvo la media de cada atributo acústico evaluado y se realizó una prueba de T pareada mediante el software R Studio V. 1.1.463.

Figura 3. Oscilogramas de una grabación saturada y no saturada



Nota: Oscilogramas de una grabación saturada (Superior) y una grabación no saturada (Inferior), correspondientes a dos cantos de dos individuos diferentes (Archivos: PAREJU_0002-canto 5 y UCATAY_0003 respectivamente).

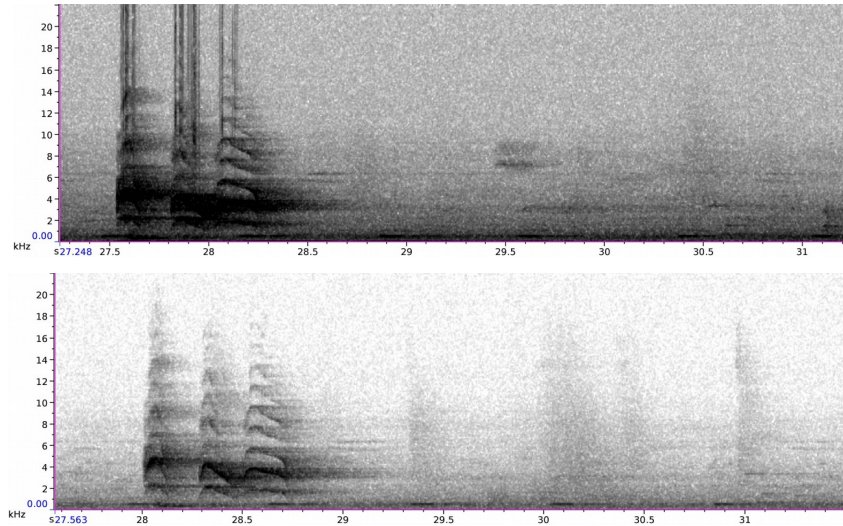
Al comparar los atributos acústicos de grabaciones saturadas y no saturadas obtenidas experimentalmente mediante la prueba de T pareada se encontraron diferencias significativas en los atributos “Frecuencia 5%” y “Entropía Promedio” (Tabla 2), por lo cual dichas variables fueron descartadas del presente trabajo. La variable “Frecuencia 95%”, también se descartó por ser marginalmente significativa.

Tabla 2. Prueba de T pareada para atributos acústicos entre grabaciones saturadas y no saturadas.

Atributo acústico	Condición de grabación	Test de homogeneidad de varianzas (valor p)	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)	T Pareada (Valor p)
Duración del canto	Saturada	0.6128	0.1699	0.5325
	No saturada		0.1577	
Frecuencia pico	Saturada	0.9448	0.6469	0.983
	No saturada		0.6296	
Frecuencia 5%	Saturada	0.2434	0.05269	0.0417
	No saturada		0.001354	
Frecuencia 95%	Saturada	0.9845	0.7541	0.05106
	No saturada		0.844	
Entropía promedio	Saturada	0.99	0.3787	0.009569
	No saturada		0.1164	

La variable “Número de Armónicos Visibles” también fue descartada debido a la dificultad de poder diferenciar los armónicos en el espectrograma tanto en una grabación saturada como una no saturada (Figura 4).

Figura 4. Espectrogramas de un canto saturado y uno no saturado



Nota: Espectrograma de un canto saturado (Superior) y exactamente el mismo no saturado (Inferior) (Archivo: UCATAY_0003-canto 3).

Debido a que la duración de los cantos (Delta Time) no se vio afectada por la saturación en las grabaciones se decidió incluir como medida la tasa de cantos (Número de cantos / Tiempo de grabación), tomando como inicio de grabación el tiempo de inicio del primer canto medido y como terminación de la grabación el tiempo de finalización del último canto medido en con ayuda del oscilograma. Se seleccionaron las variables “Número de elementos” (Elementos), “Tasa de cantos” (tasa), “Duración del Canto” (delta0), “Duración del Primer Elemento” (delta1), “Duración del Segundo Elemento” (delta2), “Duración del Tercer Elemento” (delta3), “Frecuencia Pico del Canto” (frec0), “Frecuencia Pico del Primer Elemento” (frec1), “Frecuencia Pico del Segundo Elemento” (frec2), “Frecuencia Pico del Tercer Elemento” (frec3) y “Nivel del Canto a 1m de Distancia” (nivel).

2.2.4. Análisis estadístico

2.2.4.1. Variables correlacionadas

Se realizó una prueba colinealidad entre las variables independientes (Nivel de Ruido, Fecha y Hora) evaluando el factor de inflación de la varianza (VIF) (Moreno y Bustillo, 2012) mediante el paquete “car” versión 3.0-9 (Fox y Weisberg, 2019) en el software R Studio V. 1.1.463.. El análisis del factor de inflación de varianza (VIF) aplicado a las variables independientes (Fecha, hora y ruido ambiental) fue inferior a 5 (James *et al.*, 2017) (Tabla 3), por lo que se descartó que existiese colinealidad entre estas variables.

Tabla 3. *Factor de inflación de la varianza (VIF) entre variables independientes*

Fecha vs Hora	Fecha vs Ruido Ambiental	Hora vs Ruido Ambiental
1.004869	1.035273	1.039916

Las variables “elementos”, “delta0” y “delta1” no presentaban distribución normal (Shapiro-Wilk, $p < 0.05$), por lo cual se realizaron correlaciones de Spearman para estas tres variables. Las demás variables presentaban distribución normal (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$), por lo que se analizaron con correlaciones de Pearson, con el propósito de descartar aquellas que se correlacionaran, para lo cual se utilizó se utilizó el paquete “R Stats” en R Studio (Tabla 4).

Tabla 4. Correlaciones entre atributos acústicos

elementos	tasa	delta0	delta1	delta2	delta3	frec0	frec1	frec2	frec3	nivel
elementos	0,1240	0,6712	0,2930	0,1133	0,0002 ***	0,0079 ***	0,0177 **	0,8243	0,8420	0,0166 **
tasa		0,4314	0,3308	0,0987	0,3121	0,2864	0,1791	0,9414	0,7287	0,4805
delta0			0,0071 ***	0,0391 **	0,0633	0,7294	0,3851	0,1062	0,4120	0,8027
delta1				0,0148 **	0,0053	0,6384	0,7850	0,7728	0,5975	0,5638
delta2					0,00004 ***	0,3394	0,8081	0,8391	0,6804	0,1508
delta3						0,0122 **	0,0100 **	0,4540	0,3522	0,1152
frec0							0,0008 ***	0,0322 **	0,0137 **	0,4689
frec1								0,0006 ***	0,0056 ***	0,3410
frec2									0,0473 **	0,3795
frec3										0,6541
nivel										

Nota: El valor p señalado para las variables “elementos”, “delta0” y “delta1” se obtuvo mediante una correlación de Spearman debido a que dichas variables no presentaban distribución normal. Los valores significativos se muestran señalados con asteriscos (*) (** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$).

Debido a que las variables “elementos”, “delta1”, “delta2”, “delta3”, “frec1”, “frec2” y “frec3” se correlacionan entre sí ($p < 0.05$), se eliminaron del presente trabajo, por lo cual sólo se analizaron las variables “tasa” (Tasa de cantos), “delta0” (Duración del canto), “frec0” (Frecuencia pico del canto) y “nivel” (Nivel del canto calculado a 1m) en función de la fecha, la hora y el nivel de ruido ambiental.

2.2.4.2. Modelos lineales

Se obtuvieron modelos lineales para analizar la respuesta de cada variable dependiente seleccionada (Tasa de cantos (#cantos/s), duración del canto (s), frecuencia pico del canto (Hz) y nivel del canto calculado a 1m (dBa)) con las variables independientes elegidas (Fecha (convertida a número), hora y nivel de ruido ambiental (dBa)) utilizando el paquete “R Stats” en R Studio V. 1.1.463. Cada modelo obtenido se graficó utilizando los paquetes “ggplot2” (Wickham, 2016) y “ggpubr” (Kassambara, 2020) en R Studio.

2.3. Resultados

2.3.1. Modelos lineales

Se construyeron 4 modelos lineales generales, uno para cada variable dependiente seleccionada ($n=18$) en función de las variables independientes (Hora, fecha y nivel de ruido ambiental) (Tabla 5).

Tabla 5. Resumen de los modelos lineales generales para los atributos acústicos seleccionados

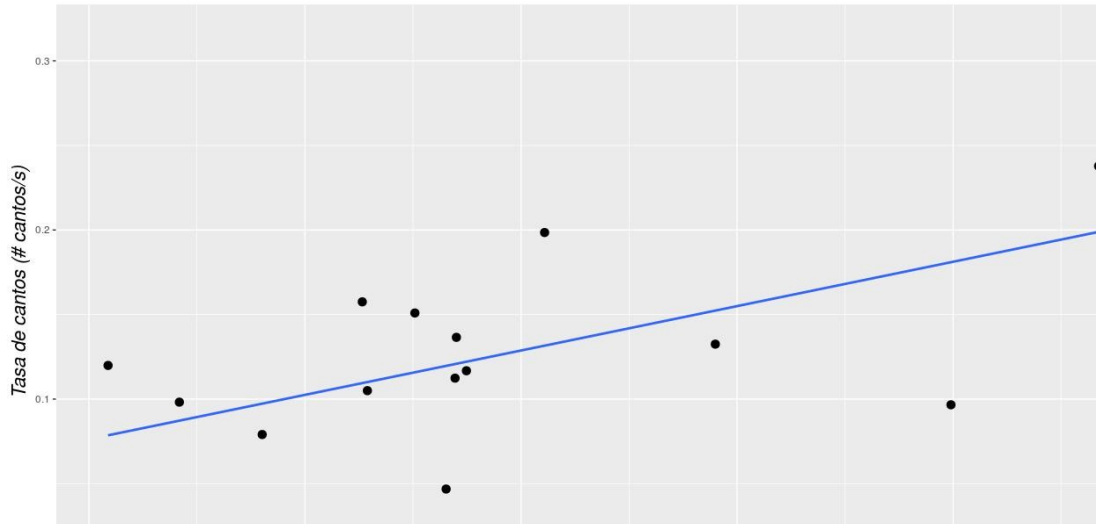
	Tasa de cantos	Duración del canto	Frecuencia pico	Nivel del canto
Fecha	0.00002	0.001	-3.559	-0.059
Error estándar	(0.0004)	(0.001)	(2.394)	(0.189)
<i>p</i>	0.967	0.363	0.160	0.784
Hora	-0.00002	0.0005	-0.153	-0.023
Error estándar	(0.0001)	(0.0003)	(0.671)	(0.027)
<i>p</i>	0.871	0.197	0.824	0.480
Nivel de ruido ambiental	0.005**	-0.002	2.096	-0.050
Error estándar	(0.002)	(0.006)	(11.949)	(1.000)
<i>p</i>	0.012	0.691	0.864	0.965
Constante	-0.151	-0.018	4,810.544***	125.105
Error estándar	(0.174)	(0.574)	(1,134.490)	(110.769)
<i>p</i>	0.400	0.976	0.001	0.376
<i>n</i>	18	18	18	6
R²	0.389	0.184	0.154	0.374
R² Ajustado	0.258	0.009	-0.028	-0.565
Error estándar residual	0.059 (gl = 14)	0.196 (gl= 14)	386.547 (gl = 14)	7.824 (gl = 2)
Estadístico F	2.969* (gl = 3; 14) (<i>p</i> = 0.069)	1.049 (gl = 3; 14) (<i>p</i> = 0.402)	0.846 (gl = 3; 14) (<i>p</i> = 0.492)	0.398 (gl = 3; 2) (<i>p</i> = 0.772)

Nota: Valores correspondientes a cada modelo lineal, los valores significativos se muestran señalados con asteriscos (*) (** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$).

2.3.1.1. Tasa de cantos

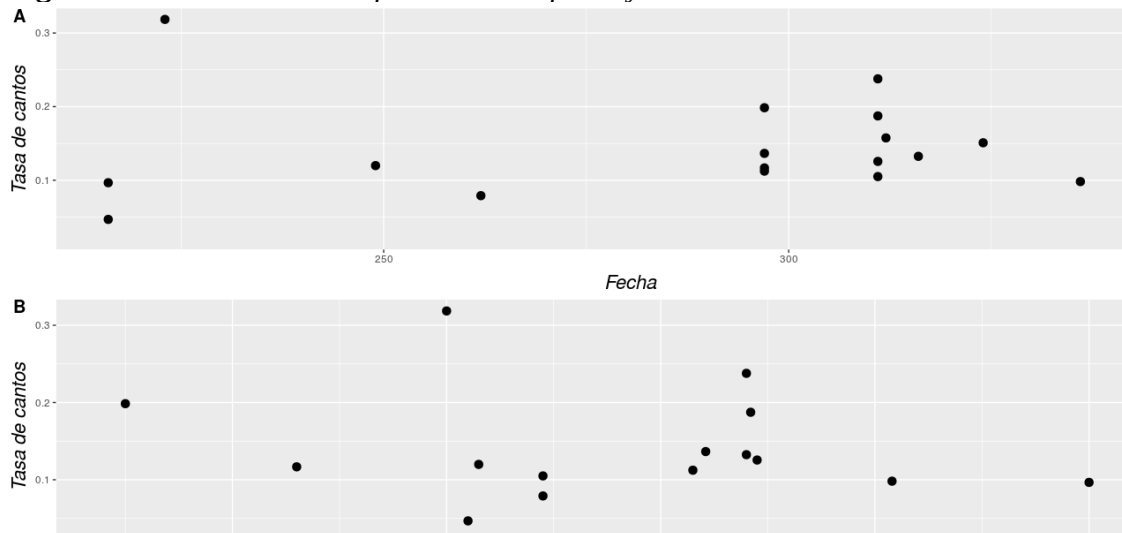
La tasa de cantos (#cantos/s) se relaciona significativa y positivamente con el nivel de ruido ambiental (dBa) ($p = 0.012$, $n = 18$, $\beta_1 = 0.005$) (Figura 5). No se encontró que se relacionara significativamente con la fecha ($p = 0.967$, $n = 18$) o la hora ($p = 0.871$, $n = 18$) (Figura 6).

Figura 5. Tasa de cantos en función del nivel de ruido ambiental



Nota: Tasa de cantos en función del nivel de ruido ambiental. *Pitangus sulphuratus* canta a una mayor tasa en ambientes ruidosos en contraste con ambientes más silenciosos.

Figura 6. Tasa de cantos en función de la fecha y la hora

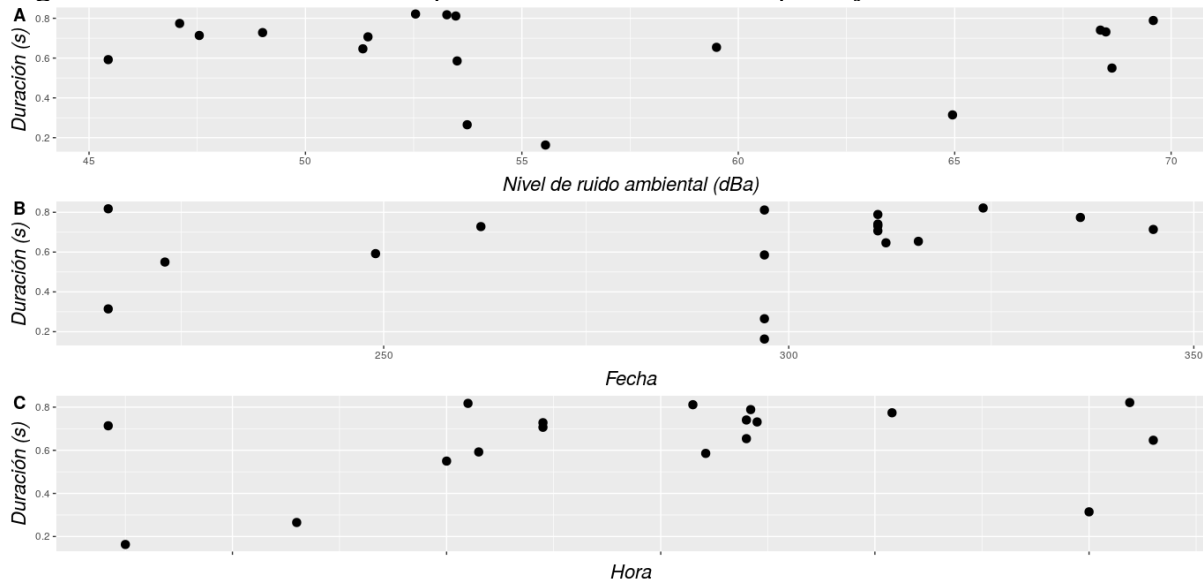


Nota: Tasa de cantos en función de la fecha (A) y de la hora (B). No se encontró una relación significativa entre la tasa de cantos de *P. sulphuratus* y estas dos variables.

2.3.1.2. Duración del canto

No se encontró una relación significativa entre la longitud del canto (s) y el nivel de ruido ambiental (dBa) ($p= 0.691$, $n= 18$), la fecha ($p= 0.363$, $n= 18$) ni la hora ($p= 0.197$, $n= 18$) (Figura 7).

Figura 7. Duración del canto en función del nivel de ruido, fecha y hora

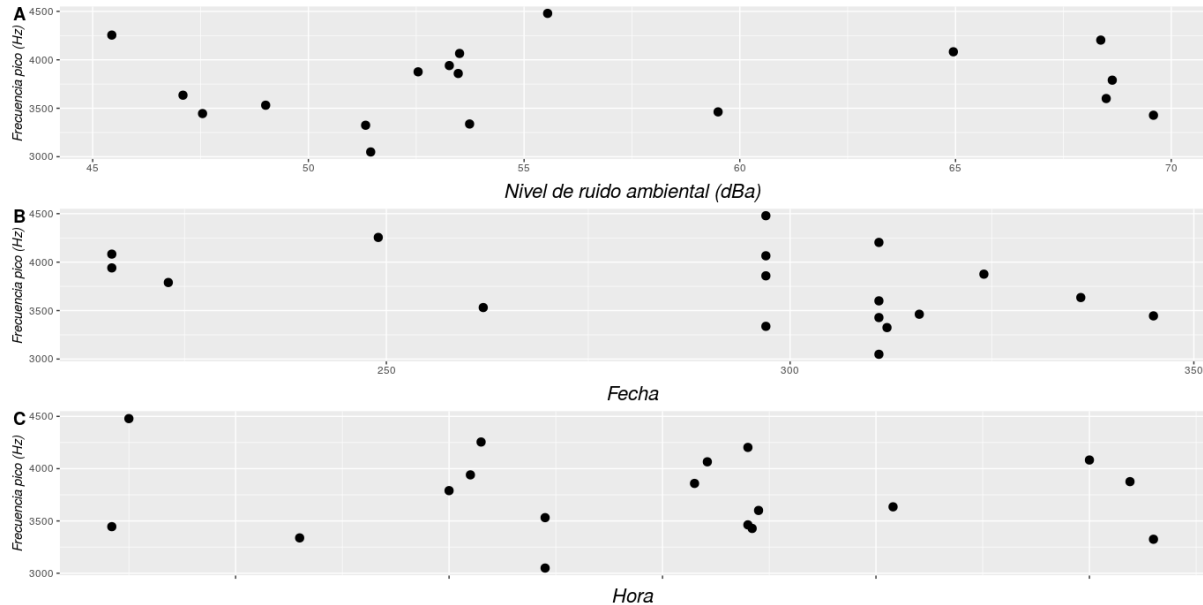


Nota: Duración del canto en función del nivel de ruido ambiental (A), de la fecha (B) y la hora (C). No se encontró una relación significativa entre la longitud del canto y estas tres variables.

2.3.1.3. Frecuencia pico

No se encontró una relación significativa entre la frecuencia pico (Hz) y el nivel de ruido ambiental (dBa) ($p= 0.864$, $n= 18$), la fecha ($p= 0.160$, $n= 18$) ni la hora ($p= 0.824$, $n= 18$) (Figura 8).

Figura 8. Frecuencia pico en función del nivel de ruido, fecha y hora

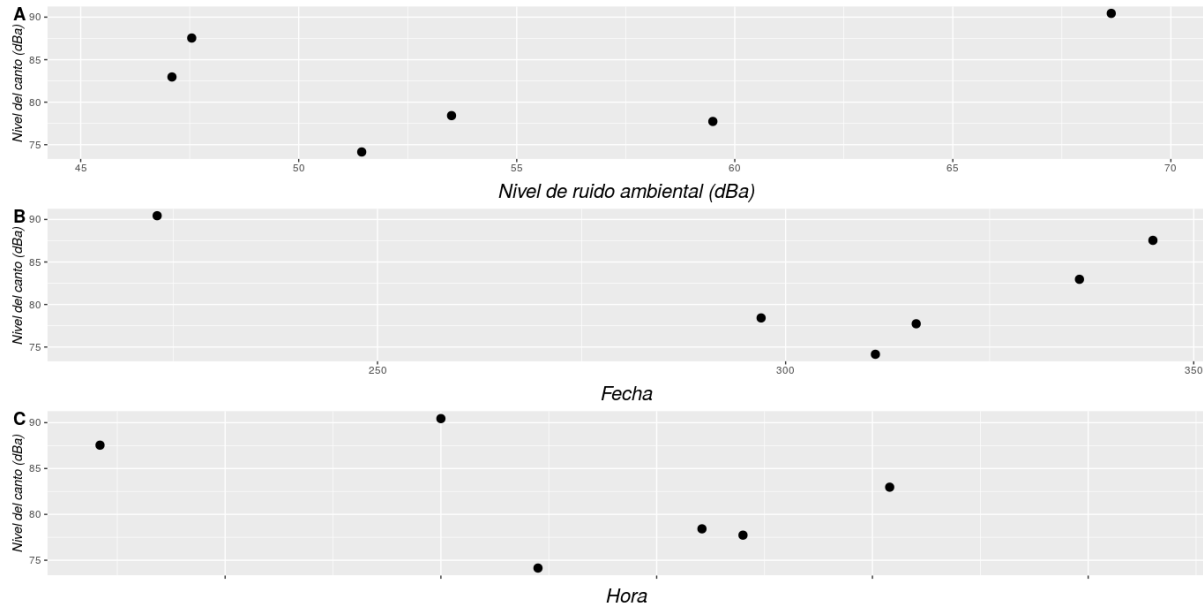


Nota: Frecuencia pico (Hz) en función del nivel de ruido ambiental (A), de la fecha (B) y la hora (C). No se encontró una relación significativa entre la longitud del canto y estas tres variables.

2.3.1.4. Nivel del canto

No se encontró una relación significativa entre el nivel del canto (dBa) y el nivel de ruido ambiental (dBa) ($p= 0.965$, $n= 6$), la fecha ($p= 0.784$, $n= 6$) ni la hora ($p= 0.480$, $n= 6$) (Figura 9). Debido a bajo número de individuos a los que se pudo medir el nivel de canto ($n=6$) se procedió a realizar, al igual que el modelo lineal general presentado, una correlación de Spearman, la cual tampoco resultó significativa para el nivel de ruido ($r= 0.08$; $p= 0.91$), fecha ($r= -0.028$; $p= 1$) ni hora ($r= -0.42$; $p= 0.41$)

Figura 9. Nivel del canto en función del nivel de ruido, fecha y hora



Nota: Nivel del canto (dBa) en función del nivel de ruido ambiental (A), de la fecha (B) y la hora (C). No se encontró una relación significativa entre la longitud del canto y estas tres variables.

2.3.2. Análisis de varianza (ANOVA):

Se realizó un análisis de varianza para cada atributo acústico seleccionado, dado que los datos de ruido ambiental se pudieron agrupar en tres rangos (41-50 dBa, 51-60 dBa y 61-70 dBa). Se encontró un valor significativo para el atributo “Nivel de canto” ($F^{2, 15} = 1.203$, $p = 0.0353$). Al realizar una prueba de Tukey se encontró un valor significativo al comparar el intervalo de más alto (61-70 dBa) con el más bajo (41-50 dBa) ($p = 0.041$). El atributo “Tasa de cantos” también presentó un valor significativo ($F^{2, 15} = 4.356$, $p = 0.032$). Posteriormente se realizó una prueba de Tukey se encontró un valor significativo al comparar el intervalo de más alto (61-70 dBa) con el más bajo (41-50 dBa) ($p = 0.041$ y 0.041 respectivamente).

2.4. Discusión

El ruido en ambientes urbanos puede interferir en la comunicación de las especies que dependen del sonido para dicho fin, entre las que destacan las aves, por lo cual éstas han desarrollado diversas estrategias para enfrentarlo (Brumm, 2013). *Pitangus sulphuratus*, siendo un ave común en ambientes urbanos debe enfrentar altos niveles de contaminación acústica para comunicarse (Mendoza y Arce-Plata, 2012). En este trabajo se encontró que la tasa de cantos fue la única variable que mostró relación significativa con el nivel de ruido ambiental. A mayor nivel de ruido ambiental se encontró una mayor tasa de cantos, lo cual podría deberse a que al repetirlos se incrementa la posibilidad de ser transmitidos exitosamente en ambiente ruidosos (Brumm y Slater, 2006; Ríos-Chelén *et al.*, 2015). Por otro lado, considerando la temporada de reproducción de esta especie, la cual va de octubre a diciembre (Llambías y Ferretti, 2003; Munin *et al.*, 2012) y que las aves hembras podrían preferir machos con cantos repetitivos y estereotipados (Ríos-Chelén y Macías-García, 2005; Price, 2012), no se puede atribuir la redundancia del canto a la atracción de pareja debido a que tanto hembras como machos de *Pitangus sulphuratus* emiten el mismo repertorio de cantos (Amador *et al.*, 2008) y no se encontró una relación significativa entre la fecha y la tasa de cantos. Esto último contrasta con lo encontrado en el suboscino *Pyrocephalus rubinus* el cual presenta una mayor tasa de cantos después de la construcción del nido y ésta se correlaciona con un mayor número de machos territoriales vecinos, pudiendo interpretarse como una señal hacia éstos (Ríos-Chelén y Macías-García, 2005), lo cual indica que una mayor tasa de cantos podría estar relacionada con la temporada reproductiva. Tampoco se encontró que se relacionara la tasa de cantos con la hora del día, lo cual podría deberse al restringido rango de horas (0630 hr y las 1300 hr) en el que fueron hechas las grabaciones del presente estudio.

La duración del canto no se encontró relacionada con el nivel de ruido ambiental, a pesar de que los cantos más cortos podrían estar relacionados a una mayor tasa de cantos (Ríos-Chelén *et al.*, 2015) y en el caso de los resultados obtenidos en el presente estudio no se encontró que los cantos fueran más cortos, tampoco más largos o con más elementos como lo reportado para el suboscino *Pyrocephalus rubinus* el cual emite cantos con más elementos en condiciones ruidosas (Ríos-Chelén *et al.*, 2013).

La ausencia de relación entre la frecuencia pico del canto y el nivel de ruido ambiental contrasta con lo encontrado para diferentes especies de aves, que cantan con un mayor tono en ambientes ruidosos (Slabbekoorn y Peet, 2003; Hu y Cardoso, 2010) entre ellos el suboscino tiránido *Myiarchus cinerascens*, en el cual se encontró que la frecuencia pico se encontraba relacionada positivamente con el nivel de ruido (Francis *et al.*, 2011); sin embargo, la frecuencia máxima es menos propensa a ser enmascarada por el ruido ambiental a diferencia de la frecuencia mínima (Hu y Cardoso, 2010) y se ha encontrado que en condiciones de ruido ambiental alto las aves aumentan la frecuencia mínima de su canto (Wood y Yezerinac, 2006; Ríos-Chelén *et al.*, 2012) a pesar de que este aumento sin aumentar la frecuencia pico compromete la información transmitida por el canto (Luther *et al.*, 2016).

La falta de variación relacionada con el ruido en la frecuencia pico de *Pitangus sulphuratus* podría deberse a la ausencia, parcial o total, de aprendizaje del canto en contraste con las aves cuyo canto es aprendido (Ríos-Chelén *et al.*, 2012), las cuales podrían aprender de sus tutores sólo los cantos cuyas frecuencias no son enmascaradas por el ruido (Moseley *et al.*, 2018).

Para *Pitangus sulphuratus* se ha encontrado que cantan con mayores frecuencias en ambientes urbanos en relación a ambientes rurales (Mendoza y Arce-Plata, 2012), sin

embargo en este estudio se evaluó este atributo únicamente en ejemplares urbanos, por lo cual no podemos contrastar los resultados encontrados con los mencionados para esta especie.

No se encontró evidencia del Efecto Lombard en *P. sulphuratus*, a pesar de que, a diferencia de un aumento en la frecuencia del canto, un aumento en la amplitud de éste incrementa el espacio activo de la señal (Nemeth y Brumm, 2010) y este efecto se ha evidenciado en otras aves (Pytte, 2003; Brumm, 2004). Una posible explicación a esta ausencia es la posibilidad de provocar una agresión territorial por parte de conespecíficos (Zollinger y Brumm, 2017), además de un mayor costo metabólico al producir cantos de mayor amplitud (Zollinger *et al.*, 2011). Por otro lado el bajo número de individuos en los que se pudo reportar el valor del nivel de canto en el presente estudio, el cual es más bajo que los empleados en los estudios mencionados, pudo haber influido para no encontrar un resultado significativo en este trabajo, a pesar que el análisis de varianza (ANOVA) fue significativo, el modelo lineal obtenido no demostró serlo.

3. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten inferir que la especie *Pitangus sulphuratus* emite una mayor cantidad de cantos por unidad de tiempo para lidiar con el nivel de ruido en ambientes urbanos dentro del área metropolitana de Bucaramanga, sin comprometer la duración de su canto. La tasa de cantos es independiente de la hora del día y de la fecha.

Los resultados obtenidos permiten inferir que el canto de *P. sulphuratus* no se ve afectado por la fecha, considerando que algunas de las fechas de grabación del presente estudio coincidieron con la temporada de reproducción de esta especie y que los atributos

VARIACIÓN EN EL CANTO DE *Pitangus sulphuratus* 40

frecuencia pico, duración del canto, tasa de cantos y nivel del canto no mostraron relación con esta variable.

Debido a que las grabaciones se restringieron a las horas de la mañana, la ausencia de relación entre la hora del día y los atributos acústicos evaluados no es concluyente, tal vez podría serlo para las horas de la mañana.

Los resultados obtenidos para la relación del nivel del canto de *P. sulphuratus* con el nivel de ruido ambiental, fecha y hora no son concluyentes debido al bajo número de individuos registrados.

4. Recomendaciones

Se recomienda registrar el nivel de canto de un mayor número de individuos de *P. sulphuratus* ($n > 6$) con el propósito de evidenciar o descartar la ocurrencia del Efecto Lombard en esta especie.

Se recomienda extender el rango de horas de grabación, con el propósito de evaluar una relación entre la hora del día y los atributos acústicos de *P. sulphuratus*.

Referencias bibliográficas

- Amador, A., Goller, F. y Mindlin, G. B. (2008). Frequency modulation during song in a suboscine does not require vocal muscles. *Journal of Neurophysiology*, 99(5), 2383–2389.
- Araya-Salas, M. (2012). Is birdsong music? Evaluating harmonic intervals in songs of a Neotropical songbird. *Animal Behaviour* 84, 309-313.
- Avendaño, J. E., Bohórquez, C. I., Rosselli, L., Arzuza-Buelvas, D., Estela, F. A., Cuervo A. M., Stiles F., G., & Renjifo, L. M. (2017). Checklist of the birds of Colombia: A synthesis of the state of knowledge since Hilty and Brown (1986). *Ornitología Colombiana* (16).
- Ayerbe-Quiñones, F. (2018). *Guía ilustrada de la avifauna colombiana* (2 ed). Wildlife Conservation Society.
- Baker, M. (2001). Bird song research: the past 100 years. *Bird Behavior*, 14(1), 3–50.
- Bermúdez-Cuamatzin, E., Ríos-Chelén, A. A., Gil, D. y Macías-García, C. (2011). Experimental evidence for real-time song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird. *Biology Letters*, 7(1), 36–38.

Bioacoustics Research Program. (2014). Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.6) [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology.

Available from <http://www.birds.cornell.edu/raven>.

Bradbury, J. W. y Vehrencamp, S. L. (2011). *Principles of animal communication*. (2 ed.).

Sinauer. Associates, Inc.

Brumm, H. (2004). The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird.

Journal of Animal Ecology, 73, 434–440.

Brumm H. (Ed.). (2013). *Animal communication and noise Animal* (Vol. 2). Springer-Verlag

Berlin Heidelberg.

Brumm, H. y Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic Communication in Noise. *Advances in the*

Study of Behavior, 35, 151–209.

Brumm, H. y Slater, P. J. B. (2006). Ambient noise, motor fatigue, and serial redundancy in

chaffinch song. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 60, 475–481.

Brumm, H. y Todt, D. (2002). Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial

songbird. *Animal Behaviour*, 63, 891–897.

VARIACIÓN EN EL CANTO DE *Pitangus sulphuratus* 43

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

Cardoso, G. C. y Atwell, J. W. (2011). On the relation between loudness and the increased song frequency of urban birds. *Animal Behaviour*, 82, 831–836.

Casas-García, O., Betancur-Vargas, C. M. y Montaña-Erazo, J. S. (2015). Revisión de la normatividad para el ruido acústico en Colombia y su aplicación. *Entramado*, 11(1), 264–286.

Catchpole, C. K. y Slater, P. J. B. (2008). *Bird song biological themes and variations* (2 ed.). Cambridge University Press.

Charif, R.A., Waack A.M., y Strickman L.M. (2010). *Raven Pro 1.4 User's Manual*. Ithaca, NY. Cornell Lab of Ornithology.

Döppler, J. F., Amador, A., Goller, F., & Mindlin, G. B. (2020). Dynamics behind rough sounds in the song of the *Pitangus sulphuratus*. *Physical Review E*, 102(6), 062415.

Francis, C. D., Ortega, C. P. y Cruz, A. (2011). Vocal frequency change reflects different responses to anthropogenic noise in two suboscine tyrant flycatchers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278, 2025–2031.

Fox, J., y Weisberg, S. (2019). *An {R} Companion to Applied Regression*, (3 ed). Thousand Oaks, CA, Sage. Rescatado de <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>

Gentry, K. E., McKenna, M. F. y Luther, D. A. (2017). Evidence of suboscine song plasticity in response to traffic noise fluctuations and temporary road closures. *Bioacoustics*, DOI: 10.1080/09524622.2017.1303645

Giancoli D. C. (2007). *Física. Principios con aplicaciones*. (Vol. 2). (6 de.). Pearson Educación.

Gill, S. A., Job, J. R., Myers, K., Naghshineh, K. y Vonhof, M. J. (2015). Toward a broader characterization of anthropogenic noise and its effects on wildlife. *Behavioral Ecology*, 26(2), 328–333.

Halfwerk, W., Lea, A. M., Guerra, M. A., Page, R. A. y Ryan, M. J. (2016). Vocal responses to noise reveal the presence of the Lombard effect in a frog. *Behavioral Ecology*, 27(2), 669–676.

Hanna, D., Blouin-Demers, G., Wilson, D.R. & Mennill, D.J. (2011). Anthropogenic noise affects song structure in redwinged blackbirds (*Agelaius phoeniceus*). *J. Exp. Biol.* (214), 3549-3556.

Hilty S., L., & Brown W., L. (1986). *A Guide to the Birds of Colombia*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Hu, Y. y Cardoso, G. C. (2010). Which birds adjust the frequency of vocalizations in urban noise? *Animal Behaviour*, 79, 863–867.

James, G., Witten, D., Hastie, T. y Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning - with Applications in R*. Springer Science.

Kassambara, A.(2020). ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. R package version 0.4.0. Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=ggpub>

Kroodsma, D. (1984). Songs of the Alder Flycatcher (*Empidonax Alnorum*) and Willow Flycatcher (*Empidonax Traillii*) are innate. *The Auk*, 101(1), 13–24.

Kroodsma, D. E. y Konishi, M. (1991). A suboscine bird (eastern phoebe, *Sayornis phoebe*) develops normal song without auditory feedback. *Animal Behaviour*, 42(3), 477–487.

Lenis, P. R., y Guillermo-Ferreira, R. (2019). Effect of noise on behavioural response to simulated territorial intrusion in the Great Kiskadee (*Pitangus sulphuratus*)(Aves: Tyrannidae). *Urban Ecosystems*, 23(1), 93-96.

Liu, W. C., Wada, K., Jarvis, E. D. y Nottebohm, F. (2013). Rudimentary substrates for vocal learning in a suboscine. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms3082

Llambías, P. E. y Ferretti, V. (2003). Parental Care in the Great Kiskadee. *Wilson Bulletin*, 115(2), 214–216.

Lovette, I. J. y Fitzpatrick, J. W. (Eds.). (2016). *Handbook of bird biology* (3 ed.). John Wiley & Sons.

Luther, D. A., Danner, R., Danner, J., Gentry, K. y Derryberry, E. P. (2017). The relative response of songbirds to shifts in song amplitude and song minimum frequency. *Behavioral Ecology*, 28(2), 391–397.

Luther, D. A., Phillips, J. y Derryberry, E. P. (2016). Not so sexy in the city: Urban birds adjust songs to noise but compromise vocal performance. *Behavioral Ecology*, 27(1), 332–340.

Luther, D. y Gentry, K. (2013). Sources of background noise and their influence on vertebrate acoustic communication. *Behaviour*, 150, 1045–1068.

McLaughlin, K. E. y Kunc, H. P. (2013). Experimentally increased noise levels change spatial and singing behaviour. *Biology Letters*, DOI: 10.1098/rsbl.2012.0771.

McMullan M., Donegan, T., Pantoja-Peña, G, Tuncer-Navarro, T., Bartels, A., & Ellery, T. (2018). *Field Guide to the Birds of Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Rey Naranjo Editores.

Mendoza, Á. M. y Arce-Plata, M. I. (2012). Aproximación al impacto de la perturbación urbana en las vocalizaciones de *Pitangus sulphuratus* (Tyrannidae) en Santiago De Cali, Valle Del Cauca (Colombia). *Revista de Ciencias*, 16, 19–29.

Meyer-Bisch, C. (2005). Measuring noise. *Medecine/Sciences*, 21(5), 546–550.

Moghal, M. M., Pradhan, V. S., Khan, A. R. y Farooqui, M. (2015). Bird Calls Frequency Distribution Analysis to Correlate with Complexity of Syrinx. *Journal of Global Biosciences*, 4(6), 2486–2495.

Moreno, J. D.V. y Bustillo W. G. (2012). La Multicolinealidad en modelos de Regresión Lineal Múltiple. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 80–83.

Moseley, D. L., Derryberry, G. E., Phillips, J. N., Danner, J. E., Danner, R. M., Luther, D. A. y Derryberry, E. P. (2018). Acoustic adaptation to city noise through vocal learning by a songbird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285, DOI: 10.1098/rspb.2018.1356.

Munin, R., Fischer, E. y Longo, J. (2012). Foraging of Great Kiskadees (*Pitangus sulphuratus*) and food items offered to nestlings in the Pantanal. *Brazilian Journal of Biology*, 72(3), 459–462.

Nemeth, E. y Brumm, H. (2010). Birds and anthropogenic noise: Are urban songs adaptive? *American Naturalist*, 176(4), 465–475.

Ortega, C. P. (2012). Effects of noise pollution on birds: A brief review of our knowledge.

Ornithological Monographs, (74), 6–22.

Payevsky, V. A. (2014). Phylogeny and classification of passerine birds, passeriformes.

Biology Bulletin Reviews, 4(2), 143–156.

Price, J. J. (2013). Why is birdsong so repetitive? Signal detection and the evolution of avian

singing modes. *Behaviour*, 150, 995–1013.

Pytte, C. L., Rusch, K. M. y Ficken, M. S. (2003). Regulation of vocal amplitude by the blue-

throated hummingbird, *Lampornis clemenciae*. *Animal Behaviour*, 66(4), 703–710.

Ramírez-Albores, J. E., Chapa-Vargas, L. y Jasso-Gordoa, M. C. (2016). Luis mayor

(*Pitangus sulphuratus*) en el altiplano mexicano. *Acta Zoológica Mexicana*, 32(1), 186–191.

Riede, T., Suthers, R. A., Fletcher, N. H. y Blevins W. E. (2006). Songbirds tune their vocal

tract to the fundamental frequency of their song. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103 (14), 5543-5548.

Ríos-Chelén, A. A. (2009). Bird song: The interplay between urban noise and sexual

selection. *Oecologia Brasiliensis*, 13(1), 153–164.

Ríos-Chelén, A. A., Gavin, C. L. y Patricelli, G. L. (2015). Anthropogenic noise is associated with changes in acoustic but not visual signals in red-winged blackbirds. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(7), 1139–1151.

Ríos-Chelén, A.A. y Macías-García, C. (2004). Flight display song of the Vermilion Flycatcher. *Wilson Bulletin*, 116(4), 360–362.

Ríos Chelén, A. A., Macías-García, C. y Riebel, K. (2005). Variation in the song of a subspecies, the vermilion flycatcher. *Behaviour*, 142(8), 1115–1132.

Ríos-Chelén, A. A., McDonald, A.N., Berger, A., Perry, A. C., Krakauer, A.H., Patricelli, G.L. (2017). Do birds vocalize at higher pitch in noise, or is it a matter of measurement?. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 71(29), DOI: 10.1007/s00265-016-2243-7

Ríos-Chelén, A. A., Quirós-Guerrero, E., Gil, D. y Macías-García, C. (2013). Dealing with urban noise: Vermilion flycatchers sing longer songs in noisier territories. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67, 145–152.

Ríos-Chelén, A. A., Salaberria, C., Barbosa, I., Macías-García, C. y Gil, D. (2012). The learning advantage: Bird species that learn their song show a tighter adjustment of

song to noisy environments than those that do not learn. *Journal of Evolutionary Biology*, 25(11), 2171–2180.

RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA
URL <http://www.rstudio.com/>.

Shen, J. X., & Xu, Z. M. (2016). The Lombard effect in male ultrasonic frogs: Regulating antiphonal signal frequency and amplitude in noise. *Scientific Reports*, DOI: 10.1038/srep27103

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

Slabbekoorn, H., & Ripmeester, E. A. P. (2008). Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, 17, 72–83.

Tobias, J. A., Brawn, J. D., Brumfield, R. T., Derryberry, E. P., Kirschel, A. N. G., & Seddon, N. (2012). The importance of suboscine birds as study systems in ecology and evolution. *Ornitologia Neotropical*, 23, 261–274.

Touchton, J. M., Seddon, N., & Tobias, J. A. (2014). Captive rearing experiments confirm song development without learning in a tracheophone suboscine bird. *PLoS ONE*, 9(4). DOI:10.1371/journal.pone.0095746

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York. Springer-Verlag.

Wood, W. E., & Yezerinac, S. M. (2006). Song Sparrow (*Melospiza melodia*) song varies with urban noise. *The Auk*, 123(3), 650–659.

Zollinger, S. A., Goller, F., & Brumm, H. (2011). Metabolic and respiratory costs of increasing song amplitude in zebra finches. *PLoS ONE*, 6(9). DOI:10.1371/journal.pone.0023198

Zollinger, S. A., Slater, P. J. B., Nemeth, E., & Brumm, H. (2017). Higher songs of city birds may not be an individual response to noise. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1860). DOI: 10.1098/rspb.2017.0602