



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 22/ Edición N.44
Julio - diciembre 2025
Reia4407 pp. 1-21

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Setina Liz, V. y Colorado Z., G. J.
Variación del Canto y del
Comportamiento de *Tyrannus
Melancholicus* (Passeriformes:
Tyrannidae) en un Gradiente de
Urbanización en la Alta Amazonia
Colombiana

Revista EIA, 22(44), Reia4407 pp. 1-21
<https://doi.org/10.24050/reia.v22i43.1843>

✉ *Autor de correspondencia:* Correa Colorado Z., G. J.
Ingeniero Forestal, M Sc. Bosques y Conservación Ambiental, Ph D. Ambiente y Recursos Naturales. Grupo en Ecología y Conservación de Fauna y Flora Silvestre, Departamento de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Colombia.
Correo electrónico: gjcoloradoz@unal.edu.co

Recibido: 06-11-2024
Aceptado: 10-06-2025
Disponible online: 01-07-2025

Variación del Canto y del Comportamiento de *Tyrannus Melancholicus* (Passeriformes: Tyrannidae) en un Gradiente de Urbanización en la Alta Amazonia Colombiana

VICTOR SETINA LIZ¹

✉ GABRIEL J. COLORADO Z.²

- 1 Universidad Nacional de Colombia. Sede Amazonía
2. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín

Resumen

El ruido antrópico asociado a la urbanización puede alterar directamente la comunicación vocal en las aves. Sin embargo, poco se conoce aún sobre los patrones y potenciales mecanismos relacionados con esta alteración en el comportamiento vocal de las aves en ciudades Neotropicales. En esta investigación, se evaluó el efecto del ruido antrópico y la urbanización sobre la frecuencia máxima, la frecuencia mínima, la duración del canto y la agresividad en el ave *Tyrannus melancholicus*. Se realizaron estimaciones poblacionales, grabaciones de canto, cuantificación de ruido antrópico y observaciones de agresividad en puntos de muestreo ubicados a lo largo de un gradiente de urbanización en la ciudad de San José del Guaviare, departamento del Guaviare, Colombia. *T. melancholicus* emitió cantos con frecuencia máxima más alta en sitios urbanizados, influenciado principalmente por el incremento del ruido antrópico. También se detectó un incremento en las frecuencias mínimas emitidas por esta ave a través del gradiente de urbanización, siendo este efecto mejor explicado por los encuentros agresivos (i.e., más encuentros agresivos en ambientes urbanos). A su vez, los encuentros agresivos se asociaron positivamente con la densidad poblacional. Sin embargo, no se detectó variación en la duración del canto a través del gradiente. Nuestros hallazgos sugieren que los potenciales mecanismos asociados a la variación en

los parámetros espectrales del canto de esta ave estuvieron influenciados por características ambientales asociadas con los procesos de urbanización.

Palabras clave: aves, bioacústica, comunicación vocal, duración del canto, encuentros agresivos, estimaciones poblacionales, frecuencia máxima, frecuencia mínima, Neotrópico, parámetros espectrales del canto, ruido antrópico, San José del Guaviare.

Variation in *Tyrannus Melancholicus* (Passeriformes: Tyrannidae) Song and Behavior Across an Urbanization Gradient in the Colombian High Amazonia

Abstract

Anthropogenic noise associated with urbanization can directly alter vocal communication in birds. However, little is known yet about the patterns and potential mechanisms associated with this alteration in the vocal behavior of birds in Neotropical cities. In this study, the effect of anthropogenic noise and urbanization on the maximum and minimum frequency, duration of the song, and aggressiveness in the bird *Tyrannus melancholicus* was evaluated. Population estimates, singing recordings, anthropogenic noise quantification and aggressiveness observations were carried out at sampling points located along an urbanization gradient in the city of San José del Guaviare, Guaviare Department, Colombia. *T. melancholicus* emitted songs with highest maximum frequency in urban areas, influenced mainly by the increase in anthropogenic noise. An increase in the minimum frequencies emitted by this bird through the urbanization gradient was also detected, in this case better explained by the aggressive encounters (i.e., more aggressive interactions in urban environments). In turn, aggressiveness was positively associated with population density. However, no variation was detected in the duration of the song through the gradient. Our findings suggest that the potential mechanisms associated with the variation in the spectral parameters of this bird were influenced by both environmental and behavioral characteristics that are, ultimately, related to urbanization processes.

Key words: aggressive encounters, anthropogenic noise, bioacoustics, birds, maximum frequency, minimum frequency, population estimations, Neotropics, San José del Guaviare, song duration, song spectral parameters, vocal communication.

1. Introducción

El canto en las aves tiene un papel fundamental en la comunicación, cumpliendo diferentes funciones en el reconocimiento, la defensa del territorio y la selección sexual (Catchpole & Slater, 2003). Sin embargo, las señales acústicas pueden ser obstaculizadas por el ruido, ocasionando distorsión o limitaciones en su reconocimiento. Los efectos del ruido en la comunicación en las aves han sido documentados desde al menos hace de dos décadas, con un incremento de estudios en los últimos años (Shannon *et al.*, 2016). Experimentos tanto en laboratorio como en campo han proporcionado evidencia de que el ruido puede alterar directamente la distribución y la calidad del hábitat de las especies (Wiacek & Polak, 2015; Derryberry *et al.*, 2016), reducir el éxito reproductivo (Halfwerk *et al.*, 2011; Schroeder *et al.*, 2012), causar daños fisiológicos (Ryals *et al.*, 1999; Kaiser *et al.*, 2005), alteraciones en el comportamiento animal a largo plazo (de Framond & Brumm, 2022) y, en general, ocasionar cambios en la comunicación vocal (Francis *et al.*, 2011; Ríos-Chelén *et al.*, 2013; Des Aunay *et al.*, 2014; Narango & Rodewald, 2015; Winandy *et al.* 2021). Más aún, el ruido en ambientes urbanos puede ser un factor de estrés para las aves (e.g., Injaian *et al.*, 2018). El ruido puede ocasionar cambios en los llamados de alerta anti-depredador y en los patrones de vigilancia (Klett-Mingo *et al.*, 2016). Sin embargo, el impacto del ruido en la comunicación de las aves depende tanto de la interferencia en el tiempo y el espacio ocasionada por los niveles elevados de ruido, como de las características acústicas y comportamentales específicas de la especie (Slabbekoorn *et al.*, 2012; Des Aunay *et al.*, 2014).

Debido a que el ruido ocurre en frecuencias bajas del espectro auditivo entre 0 – 3 kHz, éste generalmente ocasiona enmascaramiento en el canto de las aves que vocalizan en este rango de frecuencias y, por tanto, una de las estrategias para evitarlo es la emisión de señales a frecuencias altas (Slabbekoorn *et al.*, 2012; LaZerte *et al.*, 2016; Shannon *et al.*, 2016). Siendo así, los cantos más agudos (i.e., cantos con parámetros espectrales más altos) son probablemente menos enmascarados por el ruido (Nemeth & Brumm, 2009; Colino-Rabanal *et al.*, 2016).

A pesar de que la investigación sobre los efectos del ruido en las aves ha sido amplia, la mayoría de estudios han sido llevados a cabo en ciudades de Europa y Norteamérica, resultando en un sesgo de información para las especies Neotropicales, donde Latinoamérica solamente aporta ~7% de información sobre los efectos del ruido en la vida silvestre (Shannon *et al.*, 2016). Ciudades de países como México, Brasil y Argentina han realizado estudios enfocados en explorar los cambios de frecuencias acústica en sitios ruidosos (Laiolo, 2011; Mendes *et al.*, 2011; Ríos-Chelén *et al.*, 2013), encontrando en general una correlación positiva entre la frecuencia mínima del canto y el nivel de ruido. En Colombia estos estudios son aún escasos, con investigaciones que se han realizado principalmente en ciudades capitales (e.g., Ibagué y Cali) sobre los niveles de ruido y el efecto sobre el canto en especies como *Hylophilus flavipes*, *Cyclarhis gujanensis*, *Zonotrichia capensis*, y *Myiothlypis fulvicauda*, encontrando en general un patrón de aumento en las frecuencias mínimas del canto en sitios con alto nivel de ruido (Pacheco-Vargas & Losada-Prado, 2015; Dorado-Correa *et al.*, 2016; Villamizar-Soto *et al.*, 2021). Adicional a cambios en la frecuencia mínima del canto, también pueden evidenciarse cambios en la longitud de los mismos (e.g., cantos más cortos), provocados por un aumento en la tonalidad en sitios ruidosos (e.g., *Contopus virens*; Gentry *et al.*, 2018).

Por otro lado, a pesar de que los cambios en las vocalizaciones en las aves pueden estar asociados al ruido antrópico, la densidad poblacional puede influir en los patrones de variación del canto (Hamao *et al.*, 2011; Narango & Rodewald, 2015) y en los niveles de agresividad asociada a la defensa territorial (Hardman & Dalesman, 2018; Rieger & Marler, 2018). Esto puede ser consecuencia de las interacciones territoriales entre individuos vecinos, lo que puede estar asociado a un aumento en la tasa del canto en función del número de vecinos y a la defensa del territorio (Ríos-Chelén *et al.*, 2013). Lo anterior ha sido demostrado en diferentes especies con comportamiento territorial como *Cardinalis cardinalis* (Narango & Rodewald, 2015) o *Phylloscopus sibilatrix* (Szymkowiak *et al.*, 2016) que, al habitar zonas con densidades poblacionales altas de conoespecíficos, se enfrentan a una mayor agresión con otros individuos, exhibiendo un aumento en la frecuencia mínima del

canto durante la defensa del territorio. Por tanto, la variación en el comportamiento vocal de las aves en sitios urbanos puede estar fuertemente influenciada no sólo por el ruido antrópico (Akçay *et al.*, 2020), sino por otros factores o mecanismos como el comportamiento de agresividad (Diniz & Duca, 2021), la densidad poblacional (Fokidis *et al.*, 2011) y la disponibilidad de recursos (Foltz *et al.*, 2015).

En esta investigación, evaluamos los patrones de variación en la vocalización (i.e., parámetros espectrales) y el comportamiento (i.e., agresividad) del ave Neotropical *Tyrannus melancholicus* Vieillot (1819) a través de un gradiente de urbanización en San José del Guaviare, una ciudad en la alta Amazonia colombiana. El comportamiento de esta ave es fuertemente territorial, y ambos miembros de la pareja defienden el territorio arduamente empleando diferentes mecanismos como la emisión de vocalizaciones (Stouffer *et al.*, 2000). Dada su amplia distribución y uso de diversos hábitats en diferentes estados de intervención, incluyendo el paisaje urbano, es una especie de interés para estudiar hipótesis de variación de parámetros espectrales de sus vocalizaciones, así como en sus niveles de agresividad entre ambientes urbanizados y rurales. Esperamos que (1) la frecuencia máxima, la frecuencia mínima y la duración del canto se incrementen en sitios más urbanizados, e (2) individuos de esta ave en ambientes urbanos expresen más comportamientos agresivos que aquellos en zonas rurales, de acuerdo a lo predicho por la hipótesis de la ira urbana (*urban anger hypothesis*; Phillips & Derryberry, 2018). Adicionalmente, con el fin de identificar los posibles mecanismos que ayuden a explicar estas diferencias, relacionamos los cambios en la vocalización y la agresividad de esta ave con características ambientales, específicamente ruido antrópico, densidad poblacional y grado de urbanización.

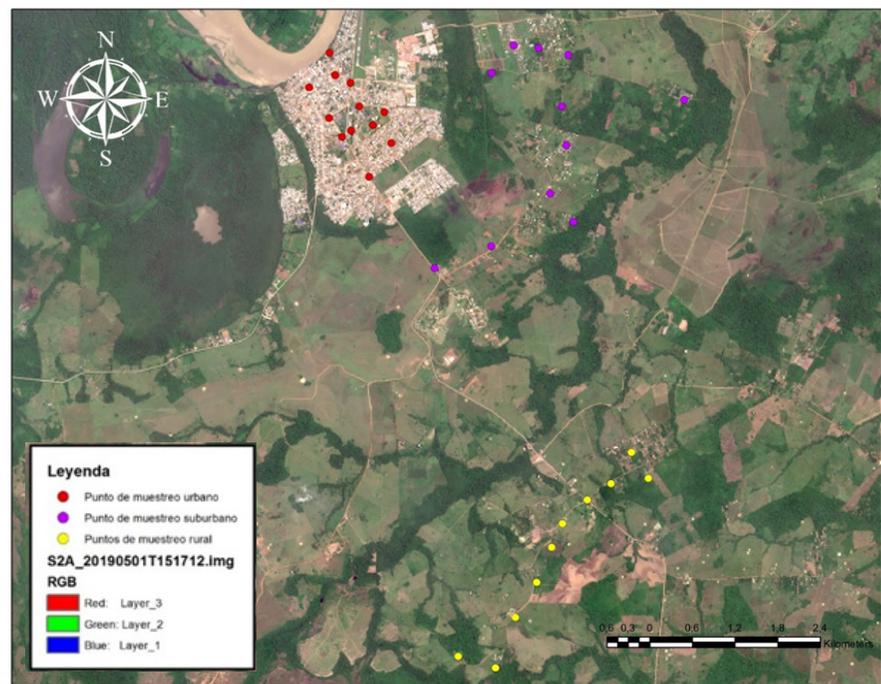
2. Materiales y Métodos

Área de estudio: Este estudio se realizó en el municipio de San José del Guaviare (2°34'7.04" N & 72°37'13.59" W) en el departamento del Guaviare, Colombia, entre febrero y junio de 2016. La precipitación promedio es de 2.800 mm anuales, temperatura de

25,5 °C, húmeda relativa del 84,2 %, evapotranspiración de 1.170 mm de media anual y una altitud media de 180 m.s.n.m.

Se seleccionaron tres zonas contrastantes clasificadas como urbana, suburbana y rural (Figura 1). En cada una de las tres zonas de estudio se ubicaron 10 puntos de muestreo separados un mínimo de 250 m entre sí (30 puntos en total), y en un radio de 100 m alrededor de cada uno se cuantificaron las siguientes variables de paisaje: (1) densidad de casas (No. Casas/ha), (2) número de carreteras pavimentadas (3) y sin pavimentar, (4) zonas verdes (árboles/ha), (5) agricultura (Cultivos/ha), y (6) pastos (Potreros/ha). Este análisis se realizó a partir de imágenes satelitales de Google Earth del 2016 mediante el Software QGIS versión 2.18 (QGIS, 2018).

Figura 1. Área de estudio en donde se evaluó la variación del canto de *T. melancholicus* en tres sitios con diferentes niveles de intervención antrópica en San José del Guaviare, Colombia. Febrero a Junio 2016.



Fuente: Google Earth y elaboración propia.

Área urbana: Se encuentra ubicada dentro del casco urbano de la ciudad de San José del Guaviare, con una densidad de casas de 70 casas/ha. La composición del paisaje se distribuye en 80 % casas, 15

% zonas verdes y 5 % pastos. En esta área se encuentran tres parques urbanos donde predomina vegetación de las especies guamo largo (*Inga edulis*), mango (*Mangifera indica*), ceiba (*Ceiba pentandra*), falso laurel (*Ficus benjamina*) y palma de Moriche (*Mauritia flexuosa*).

Área Suburbana: Se localiza a 7 km de la ciudad y comprende casas recién construidas, tierra parcelizada para la venta y relicto de vegetación de palmas Moriche. La composición del paisaje se distribuye en 60% casas recién construidas, un 30% lotes parcelizados y un 10% agricultura. En esta zona predominan árboles de sombrío como el mango, guamo y el falso laurel.

Área rural: El área rural se encuentra a 20 km de la ciudad, en donde se destacan pastos para ganadería y vegetación riparia de quebradas y humedales. En un 70% del paisaje predominan pastos asociados a ganadería, un 20% a bosque ripario principalmente a lo largo de quebradas, y un 10% corresponde a casas donde está ligada la agricultura de plantas alimenticias como cacao de monte (*Theobroma subincanum*), guamo largo, yuca (*Manihot esculenta*), piña (*Ananas comosus*), chontaduro (*Bactris gasipaes*), maíz (*Zea mays*) y plátano (*Musa paradisiaca*). En árboles maderables se destacan el cuyubí (*Miquartia guianensis*), milpo (*Erisma uncinatum*) ceiba, cedro (*Cedrela odorata*), palo de arco (*Tabebuia serratifolia*), costillo (*Aspidosperma* spp.), achapo (*Cedrelinga cateniformis*) y tolúa (*Pachira quinata*).

Métodos de Campo

Grabaciones de vocalizaciones de T. melancholicus: Para registrar la variación vocal de *T. melancholicus*, se realizaron grabaciones de canto en cada uno de los 30 puntos seleccionados en el área de estudio. Las grabaciones se realizaron durante las horas de mayor actividad de canto (06:00 a 10:00 h). Al momento de grabar los individuos, se tuvo en cuenta que estos estuvieran perchados (distancia de grabación ~ 12 m), y las condiciones de grabaciones (días son lluvia) fueran iguales para todos los sitios. Las grabaciones se obtuvieron con un micrófono unidireccional Sennheiser ME66 conectado a una grabadora TASCAM DR5, configurada a una tasa de muestreo de 44.1 kHz, 16 bits. La duración de los cantos grabados

estuvo limitada por el movimiento de las aves porque solo se registró los cantos cuando el ave estaba posado. A partir de las grabaciones se realizaron espectrogramas digitales usando el programa Raven Pro 1.4 (Bioacoustics Research Program, 2011), y se determinaron los parámetros espectrales de frecuencia máxima (Frecuencia más altas en el espectro sonoro), frecuencia mínima (Frecuencia más bajas en el espectro sonoro) y el parámetro temporal de duración del canto (Tiempo de canto emitido en s). Todas las mediciones fueron tomadas usando una ventana Hamming en la transformación rápida Fourier (FFT) con un tamaño de 1.024 bits que muestra un espectro de resolución de 47 Hz. Para garantizar la independencia en los cantos grabados y analizados, se registraron cantos de individuos diferentes.

Cuantificación de ruido antrópico: Durante cada visita a los puntos de grabación de canto, se realizaron mediciones instantáneas de ruido (dB) utilizando un medidor de nivel de presión sonora (resolución de 0.1 dB) en una baja ponderación, calibrados a 94 dB utilizando estándares IEC651 tipo II. La medida de ruido fue tomada entre las 06:00 h y las 10:00 h siendo una de las horas de mayor actividad de tráfico y de canto del ave. Se registró el ruido ambiental cada 15 minutos para un total de 16 registros para cada punto.

Encuentros agresivos: En cada uno de 30 puntos establecidos se realizaron observaciones de encuentros agresivos entre las 06:00 h y las 11:00 h dos veces por mes entre febrero y junio 2016 (10 repeticiones por punto). El tiempo dedicado a estas observaciones se inició cuando la especie se encontraba perchada y se realizaron con ayuda de unos binoculares 12 x 50 marca Bushnell, donde se tuvo en cuenta comportamientos agresivos característicos descritos para esta especie (Sarria Dulcey, 2012) como aleteo con silbido y/o despliegue de vuelo, acompañado por trinos estridentes tipo *pi-pi-piriri*. Además, se registró el tipo de agresión (Intra e interespecífica) y la especie enfrentada.

Densidad poblacional: Para cuantificar la densidad poblacional de *T. melancholicus* en a través del gradiente de urbanización, se utilizó el método de conteo por puntos en cada uno de los 30 sitios seleccionados en la zona de estudio. Se realizó la observación de esta ave por espacio de 10 minutos. En el momento de detectar un

individuo, se registró la distancia radial al individuo (m), y el número de individuos en el caso de observar más de uno. La distancia radial proporciona un área eficaz de detección a la cual se va a observar o realizar una de detección. Los muestreos fueron llevados a cabo entre las 06:00 h y las 09:00 h en días sin lluvia. Cada punto fue visitado dos veces por mes entre febrero y junio 2016 (10 repeticiones por punto). Para estimar la densidad de *T. melancholicus*, y considerando la variación en la detección de individuos en las diferentes zonas, se empleó la distancia a cada individuo para calcular la probabilidad de detección y corregir por ella empleando el software DISTANCE (Thomas *et al.*, 2010). Para este análisis se asumen supuestos como el que la detección disminuye con el aumento de la distancia y los individuos en el punto de observación son detectados con probabilidad 1.

Índice de urbanización: Con el objeto de cuantificar el grado de urbanización en la zona de estudio como potencial mecanismo que ayude a explicar la variación en el canto de *T. melancholicus*, se construyó un índice de urbanización a partir de las seis variables del paisaje cuantificadas en los 30 puntos de muestreo usadas para la clasificación de las tres zonas de estudio (i.e., densidad de casas, número de carreteras pavimentadas y sin pavimentar, zonas verdes, agricultura, y pastos). El índice se calculó empleando una media aritmética ponderada, que representa una medida de tendencia central que se da asignándole a cada clase (i.e., variable) un peso, de la siguiente forma,

$$\text{Índice urbano} = \frac{\sum Xwi}{\sum wi}$$

En donde,

X: Cada una de las seis variables de paisaje cuantificadas para cada uno de los 30 puntos de muestreo.

wi: Peso de cada variable del paisaje.

El peso de cada variable del paisaje se estimó a partir de un Análisis de Componentes Principales, siguiendo las recomendaciones de otros autores para la construcción de índices de urbanización (e.g., Narango & Rodewald, 2015; Rodewald & Shustack, 2008). Para ello, se tuvieron en cuenta los valores propios de cada componente

principal y se tomó la matriz de correlación como valor peso (w_i). Finalmente, a partir de la media aritmética ponderada, se obtiene un único valor de urbanización (i.e., índice de urbanización) para cada punto muestreado.

Análisis Estadísticos

Con el objeto de examinar la relación entre la variación de los parámetros espectrales del canto de *T. melancholicus* y sus niveles de agresividad a través del gradiente de urbanización con las características de su ambiente (i.e., variables ambientales), se emplearon regresiones lineales, utilizando los parámetros acústicos (frecuencia máxima, mínima y duración del canto) y comportamentales (agresividad) como variables dependientes, y los valores del índice de urbanización como variable independiente. Igualmente, con el fin de evaluar la influencia de la densidad poblacional de *T. melancholicus* en los niveles de agresividad a través del gradiente de urbanización, se construyó un modelo de regresión lineal adicional. Se empleó el criterio de información de Akaike corregido para tamaños muestrales pequeños (AICc) para evaluar la fiabilidad de diferentes modelos construidos con diferentes variables. Para ello se consideraron aquellos modelos con valor de $\Delta AICc \leq 2$ como modelos igualmente plausibles y los pesos de este análisis (w_i) para indicar el peso relativo de la evidencia para cada uno de los modelos candidatos. Estos análisis se realizaron usando el programa R 3.4.4 para Windows (Bolker, 2012). Al analizar criterios de normalidad de las variables dependientes (Prueba Kolmogorov-Smirnov), se cumplió para las variables densidad poblacional ($W = 0,9$, $p = 0,81$), frecuencia máxima ($W = 0,5$, $p = 0,2$), frecuencia mínima ($W = 0,6$, $p = 0,5$), duración del canto ($W = 0,1$, $p = 0,4$), e interacciones agresivas ($W = 0,5$, $p = 0,7$).

3. Resultados

Se realizaron 60 grabaciones del canto de *T. melancholicus*, distribuidas en 20 grabaciones por cada sitio de muestreo, para un total de 23.419 s de grabación (aproximadamente 6,5 horas). La frecuencia máxima del canto de *T. melancholicus* registrada fue

de 11.996,2 Hz y la frecuencia mínima de 6.456,6 Hz. Por su parte, se obtuvieron un total de 248 grabaciones de ruido ambiental, registrándose máximos de 69,4 db y mínimos de 23 db. Durante 350 horas de observación se registraron un total de 212 interacciones agresivas de *T. melancholicus*, divididas en 119 en sitios urbanos, 68 en suburbano y 25 en área rural. Las interacciones agresivas con conoespecíficos representaron el 13% de las agresiones, mientras que el resto ocurrieron con 10 especies de aves diferentes: *Milvago chimachima* (29%), *Pitangus sulphuratus* (12%), *Rupornis magnirostris* (12%), *Thraupis episcopus* (13%), *Falco sparverius* (5%), *Gampsonyx swainsonii* (5%), *Daptrius ater* (5%), *Turdus ignobilis* (5%), *Elanoides forficatus* (5%), y *Cyanocorax violaceus* (6%). En el área rural y suburbana el 75 % de las interacciones observadas ocurrieron con rapaces de la familia Accipitridae y Falconidae, mientras que para el área urbana el 70% de los enfrentamientos fue con especies de la familia Tyrannidae, Thraupidae, Turdidae y Corvidae. El comportamiento agresivo de *T. melancholicus* hacia las rapaces estuvo acompañado por una vocalización y aleteo fuerte, y en la mayoría de los encuentros varios individuos de *T. melancholicus* se unieron para perseguir a picotazos al individuo. No se observó ningún comportamiento de defensa por parte de las especies de rapaces y, por el contrario, algunos individuos al escuchar la vocalización de *T. melancholicus* prefirieron alejarse del lugar. Por su parte, en el caso de los enfrentamientos que ocurrieron con especies no rapaces, el comportamiento de *T. melancholicus* fue de vocalizaciones rápidas y cortas, perchado, y sin persecución.

Se registraron en total 1.985 individuos de *T. melancholicus* en los puntos de conteo. La densidad poblacional de *T. melancholicus* varió a través del gradiente de urbanización, estimándose una mayor densidad en sitios urbanos (0,061 individuos/ha; 95% IC = 0,056-0,073), seguido de suburbanos (0,047 individuos/ha; 95% IC = 0,038-0,058) y una menor densidad en áreas rurales (0,032 individuos/ha; 95% IC = 0,026-0,047).

El análisis de componentes principales empleado para la construcción del índice de urbanización evidenció que los tres primeros componentes explicaron ~ 79 % de la variación de los datos urbanísticos. El índice urbanístico tomó valores negativos en sitios

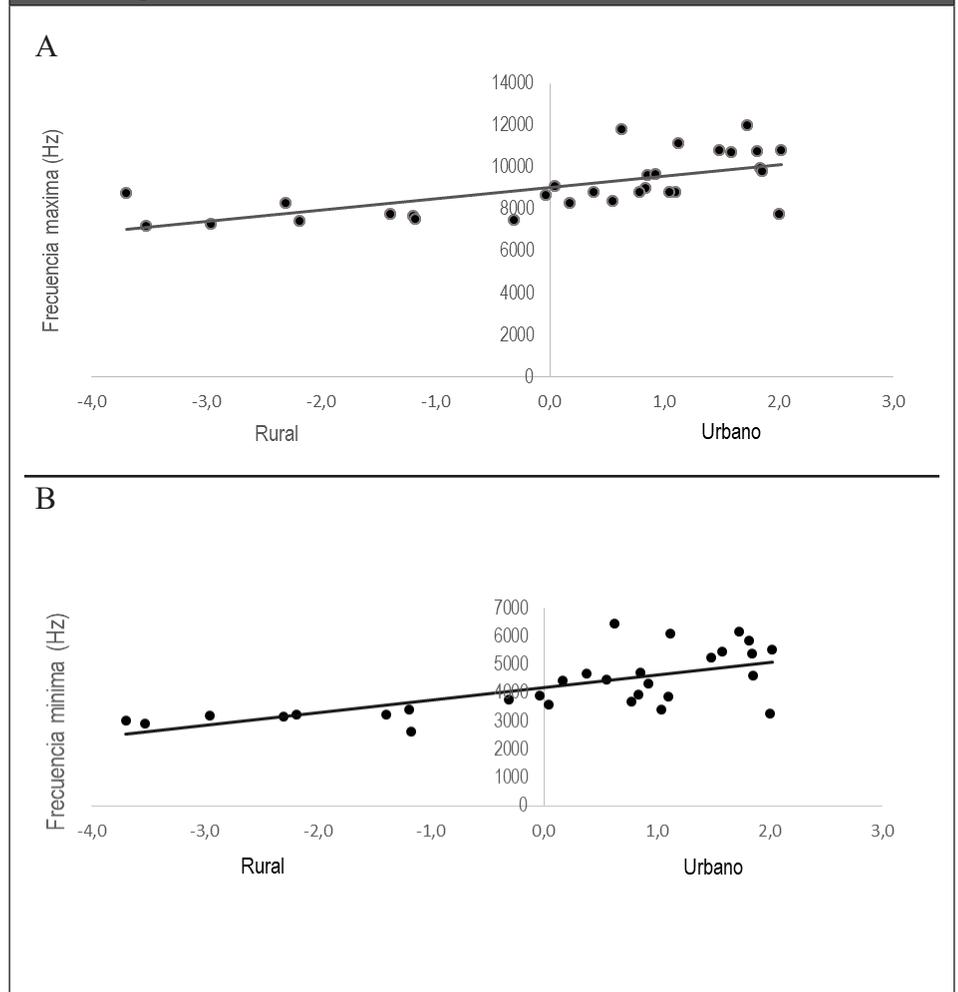
rurales y suburbanos, influenciado principalmente por la variable paisajística de pastos ($r = -0,88$), mientras que en áreas urbanas el índice tomó valores positivos, mediado principalmente por las variables densidad de casas ($r = 0,78$), pavimento ($r = 0,85$) y zonas verdes ($r = 0,88$; Tabla 1).

Tabla 1. Variables de paisaje e índice de urbanización obtenidos para 30 puntos a través de un gradiente de urbanización en San José del Guaviare, Colombia.

Sector	Punto	Densidad de casas	Pavimento	Sin pavimento	Zonas verdes	Agricultura	Pastos	Índice de urbanización
Urbano	1	0,16	0,09	0,00	0,03	0,00	0,00	0,27
	2	0,10	0,03	0,00	0,15	0,00	0,00	0,28
	3	0,05	0,06	0,00	0,18	0,00	0,00	0,29
	4	0,10	0,10	0,00	0,04	0,00	-0,04	0,20
	5	0,14	0,10	0,00	0,03	0,00	0,00	0,28
	6	0,17	0,00	0,04	0,01	0,00	-0,03	0,20
	7	0,05	0,00	0,07	0,02	0,00	-0,13	0,01
	8	0,00	0,06	0,03	0,16	0,00	-0,03	0,23
	9	0,07	0,06	0,02	0,02	0,00	-0,11	0,06
	10	0,05	0,05	0,00	0,08	0,00	-0,10	0,09
Sub-urbano	11	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	-0,25	-0,21
	12	0,01	0,00	0,00	0,17	0,00	-0,12	0,06
	13	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,25	-0,21
	14	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,21	-0,13
	15	0,00	0,00	0,01	0,26	0,00	-0,02	0,26
	16	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,25	-0,22
	17	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	-0,23	-0,16
	18	0,00	0,00	0,01	0,29	0,00	0,00	0,29
	19	0,02	0,00	0,00	0,10	0,00	-0,17	-0,06
	20	0,01	0,00	0,02	0,08	0,00	-0,18	-0,07
Rural	21	0,01	0,00	0,01	0,06	0,15	0,00	0,24
	22	0,00	0,00	0,01	0,05	0,10	-0,10	0,06
	23	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,27	-0,25
	24	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,28	-0,26
	25	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	-0,22	-0,14
	26	0,00	0,00	0,01	0,09	0,00	-0,19	-0,09
	27	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,28	-0,28
	28	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,26	-0,23
	29	0,00	0,00	0,01	0,25	0,00	-0,03	0,23
	30	0	0	0	0,07	0	-0,21	-0,14

Variación de los parámetros espectrales del canto de T. melancholicus a través del gradiente de urbanización: Tanto la frecuencia máxima ($\beta = 9.042,8 \pm 194,1$, $F_{1,28} = 21,3$, $p = 0,04$) como la frecuencia mínima ($\beta = 4.211,08 \pm 147,81$, $F_{1,28} = 25,16$, $p = 0,02$) del canto de *T. melancholicus* se relacionaron positivamente con la urbanización, al aumentar desde la zona rural hacia los sitios más urbanizados (Figura 2). La temporalidad del canto (i.e., longitud del canto) no se relacionó con la urbanización ($\beta = 125,05 \pm 7,87$, $F_{1,28} = 1,2$, $p = 0,2$).

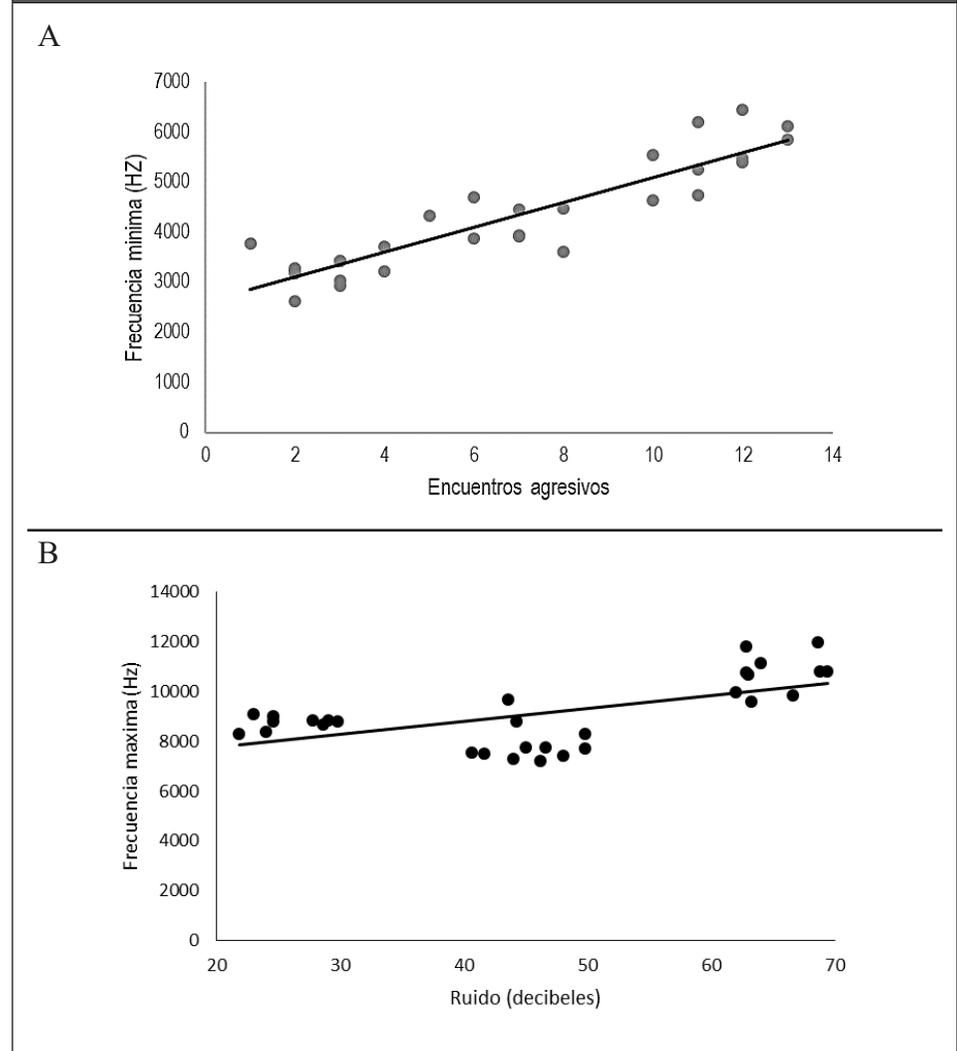
Figura 2. Variación de la frecuencia máxima (A) y mínima (B) del canto de *T. melancholicus* a través de un gradiente de urbanización en San José del Guaviare, Colombia. Febrero a Junio 2016.



Respuesta del canto de T. melancholicus a variables ambientales:
La frecuencia mínima emitida por *T. melancholicus* se relacionó

positivamente con los encuentros agresivos ($\beta = 2.567,69 \pm 175,46$, $F_{1,28} = 1,2$, $p = 0,01$), mientras que la frecuencia máxima se asoció con el incremento del ruido ambiental ($\beta = 5.540,41 \pm 342,09$, $F_{1,28} = 121,9$, $p = 0,01$; Figura 3).

Figura 3. Relación entre la frecuencia mínima (A) y frecuencia máxima (B) del canto de *T. melancholicus* con el número de encuentros agresivos y la variación del ruido antrópico, respectivamente. San José del Guaviare, Guaviare, Colombia. Febrero a Junio 2016.



Interacciones agresivas y densidad poblacional: La densidad poblacional de *T. melancholicus* se relacionó positivamente con los encuentros agresivos a través del gradiente de urbanización ($\beta = 0,75 \pm 0,3$, $F_{1,28} = 84,2$, $p < 0,001$).

4. Discusión

Nuestra investigación sobre el efecto del ruido antrópico en el comportamiento vocal y de agresividad de *T. melancholicus* en una ciudad en la alta Amazonia Colombiana, evidenció el impacto de la urbanización y el ruido ambiental – principalmente asociado al tráfico urbano – sobre diferentes parámetros espectrales del canto de esta ave. En particular, encontramos que tanto la frecuencia máxima como la frecuencia mínima emitida por esta ave se incrementaron a medida que aumentaba la urbanización, sin una variación significativa en la duración del canto. Más aún, se evidenció una asociación directa entre el incremento del ruido ambiental y el aumento en las frecuencias máximas. Sin embargo, la variación en las frecuencias mínimas estuvo mejor explicada por el comportamiento de agresividad (i.e., número de encuentros agresivos) que, a su vez, estuvo fuertemente relacionado con la densidad poblacional de la especie.

Diversos estudios han documentado la variación de los parámetros espectrales del canto de las aves en ambientes ruidosos, evidenciando en general un aumento en la frecuencia máxima y mínima muy posiblemente relacionado con la necesidad de contrarrestar el enmascaramiento acústico (Francis, 2011; Ríos-Chelén *et al.*, 2013; Des Aunay *et al.*, 2014; Narango & Rodewald, 2015; Winandy *et al.*, 2021). Adicionalmente, otros estudios han demostrado que las aves al estar expuestas al ruido, cantan con una mayor intensidad, lo que potencialmente se traduce en una distancia de detección mayor en estos ambientes (Nemeth & Brumm, 2009; Zollinger & Brumm, 2015; Brumm & Bee, 2016). La variación del canto en relación con niveles de ruido ha sido ampliamente estudiada en Oscines (e.g., Hamao *et al.*, 2011; Narango & Rodewald, 2015), con relativamente pocas investigaciones realizadas en Suboscines. Por ejemplo, se han realizado estudios para algunas especies de la familia Tyrannidae, tales como *Myiarchus cinerascens* (Francis *et al.*, 2011) y *Contopus virens* (Gentry *et al.*, 2018), que exhibieron vocalizaciones con frecuencias mínimas más altas en ambientes ruidosos, aumentando la tonalidad del canto para mejorar la transmisión en respuesta inmediata a las fluctuaciones en el ruido. Caso contrario ocurrió con *Empidonax wrightii* (Francis *et al.*, 2011) y

Pyrocephalus rubinus (Ríos-Chelén *et al.*, 2018), para las cuales no se evidenció variación del canto inducida por el ruido. En este sentido, nuestra investigación aporta evidencia de que *T. melancholicus* puede experimentar una variación en sus parámetros espectrales producto de cambios en los niveles de ruido antrópico.

Por su parte, la variación de la frecuencia mínima emitida por *T. melancholicus* a través del gradiente de urbanización estuvo mejor explicada por los encuentros agresivos. Este patrón ha sido descrito en especies como *Turdus merula* (Nemeth & Brumm, 2009), *Phylloscopus trochiloides* (Scordato, 2018), *Spizella passerina* y *Zonotrichia leucophrys* (Davidson *et al.*, 2017). A pesar de que el ruido antrópico es un potencial mecanismo para explicar los diferentes niveles de agresividad entre aves urbanas y rurales (Phillips & Derryberry, 2018; Akçay *et al.*, 2020), nuestros resultados evidencian que otros mecanismos pueden ser responsables de la variación en este comportamiento territorial. Por ejemplo, en nuestra área de estudio la variación de la agresividad se vio relacionada con las diferencias en la densidad poblacional de esta ave entre áreas urbanas y rurales, la cual se duplicó en zonas urbanas comparada con zonas rurales. Esto concuerda con lo planteado por otros autores (e.g., Hamao *et al.*, 2011; Yoon *et al.*, 2012; Narango & Rodewald, 2015; Diniz & Duca, 2021), que han sugerido este mecanismo como potencial explicación a los patrones de agresividad en aves urbanas. Sin embargo, el incremento de la agresividad en ambientes urbanos puede estar relacionado con otros factores como la presión de depredación (Sorace 2002) y la disponibilidad de recursos (Foltz *et al.*, 2015).

Nuestra investigación aporta evidencia de que *T. melancholicus*, una especie considerada con una alta adaptabilidad a ambientes antropizados, puede experimentar una variación en sus parámetros espectrales en respuesta a cambios ambientales y comportamentales mediados por la urbanización. Sin embargo, los mecanismos que median dicha adaptación requieren de una mayor investigación. Por ejemplo, poco es conocido sobre el costo-beneficio de dichas adaptaciones. Por ejemplo, la evidencia encontrada de los cambios en los parámetros espectrales y un aumento en la agresividad en ambientes urbanos puede conducir a un gasto de tiempo y energía

extra, a mayores riesgos de lesiones y, como consecuencia, a un menor éxito reproductivo (Zwart *et al.*, 2015). Adicionalmente, es necesario evaluar el comportamiento acústico de *T. melancholicus* con relación a la disponibilidad de recursos, así como incluir una estimación de densidades poblacionales de posibles depredadores y si esto influye en la variación de los parámetros acústicos de la especie. Dado que nuestra investigación tuvo un enfoque observacional, aproximaciones experimentales serán de utilidad en futuras investigaciones.

5. Conclusión

Nuestro estudio mostró la compleja interrelación existente entre la urbanización, el ruido antrópico y el contexto social en el comportamiento de *T. melancholicus*. Específicamente, demostramos que las áreas antropizadas con mucho ruido alteran varios aspectos del comportamiento de esta ave, emitiendo vocalizaciones más altas y evidenciando una mayor agresividad, lo cual puede tener efectos negativos para la especie (e.g., incremento en sus niveles de estrés). Sin embargo, algunos aspectos del comportamiento de las aves en ambientes urbanos, incluida una mayor agresividad, pueden reflejar algunos beneficios inherentes a este hábitat antropizado (e.g., calidad de hábitat relacionada positivamente con agresión territorial: Scales *et al.*, 2013). Es relevante explorar, por tanto, qué características específicas del entorno urbano pueden asociarse con diversos costos y beneficios para las aves.

6. Agradecimientos

A Nathalie Rosales por el acompañamiento en todas las fases del proyecto. A la Universidad Nacional de Colombia y en especial al programa de posgrados en Estudios Amazónicos de la sede Amazonia por su acompañamiento profesional y técnico. A la iniciativa Socios para la Conservación de la Amazonia Colombiana (USAID – HED) por el otorgamiento de UNA beca para estudios de posgrado. A los pobladores de la ciudad de San José del Guaviare, tanto en el caso urbano como en el área rural.

7. Referencias

- Akçay, Ç., Porsuk, Y. K., Avşar, A., Çabuk, D., & Bilgin, C. C. (2020). Song overlapping, noise and territorial aggression in great tits. *Behavioral Ecology*, *31*, 807–814.
- Bioacoustics Research Program. (2011). *Raven Pro: interactive sound analysis software* (Versión 1.4). Cornell Laboratory of Ornithology.
- Bolker, B. (2012). R Development Core Team, 2014. *bbmle: Tools for general maximum likelihood estimation* (R package versión 1.5.2).
- Brumm, H., & Bee, M. (2016). A meta-analytic castle built on sand? A comment on Roca et al. *Behavioral Ecology*, *27*(5), 1277–1278.
- Catchpole, C. K., & Slater, P. J. (2003). *Bird song: Biological themes and variations*. Cambridge University Press.
- Colino-Rabanal, V. J., Mendes, S., Peris, S. J., & Pescador, M. (2016). Does the song of the Wren Troglodytes change with different environmental sounds? *Acta Ornithologica*, *51*(1), 13–22.
- Davidson, B. M., Antonova, G., Dlott, H., Barber, J. R., & Francis, C. D. (2017). Natural and anthropogenic sounds reduce song performance: Insights from two emberizid species. *Behavioral Ecology*, *28*(4), 974–982.
- de Framond, L., & Brumm, H. (2022). Long-term effects of noise pollution on the avian dawn chorus: A natural experiment facilitated by the closure of an international airport. *Proceedings of the Royal Society B*, *289*(1982), 20220906.
- Derryberry, E. P., Danner, R. M., Danner, J. E., Derryberry, G. E., Phillips, J. N., Lipshutz, S. E., Gentry, K., & Luther, D. A. (2016). Patterns of song across natural and anthropogenic soundscapes suggest that White-crowned Sparrows minimize acoustic masking and maximize signal content. *PLoS ONE*, *11*(4), e0154456.
- Des Aunay, G. H., Slabbekoorn, H., Nagle, L., Passas, F., Nicolas, P., & Draganoiu, T. I. (2014). Urban noise undermines female sexual preferences for low-frequency songs in domestic canaries. *Animal Behaviour*, *87*, 67–75.
- Diniz, P., & Duca, C. (2021). Anthropogenic noise, song, and territorial aggression in southern house wrens. *Journal of Avian Biology*, *52*(10), e02846.
- Dorado-Correa, A. M., Rodríguez-Rocha, M., & Brumm, H. (2016). Anthropogenic noise, but not artificial light levels predicts song behaviour in an equatorial bird. *Royal Society Open Science*, *3*(7).
- Fokidis, H. B., Orchinik, M., & Deviche, P. (2011). Context-specific territorial behavior in urban birds: No evidence for involvement of testosterone or corticosterone. *Hormones and Behavior*, *59*, 133–143.

- Foltz, S. L., Ross, A. E., Laing, B. T., Rock, R. P., Battle, K. E., & Moore, I. T. (2015). Get off my lawn: Increased aggression in urban song sparrows is related to resource availability. *Behavioral Ecology*, *26*(6), 1548–1557. <https://doi.org/10.1093/beheco/arv111>
- Francis, C. D., Ortega, C. P., & Cruz, A. (2011). Vocal frequency change reflects different responses to anthropogenic noise in two *Suboscines* tyrant flycatchers. *Proceedings of the Royal Society of London B*, *278*, 2025–2031. <http://doi.org/10.1098/rspb.2010.1847>
- Francis, C. D., Ortega, C. P., Kennedy, R. I., & Nylander, P. J. (2012). Are nest predators absent from noisy areas or unable to locate nests? *Ornithological Monographs*, *2012*(74), 101–110.
- Gentry, K. E., McKenna, M. F., & Luther, D. A. (2018). Evidence of *Suboscines* song plasticity in response to traffic noise fluctuations and temporary road closures. *Bioacoustics*, *27*(2), 165–181.
- Hamao, S., Watanabe, M., & Mori, Y. (2011). Urban noise and male density affect songs in the great tit *Parus major*. *Ethology Ecology & Evolution*, *23*(2), 111–119.
- Halfwerk, W., Holleman, L. J., Lessells, C. K., & Slabbekoorn, H. (2011). Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology*, *48*(1), 210–219.
- Hardman, S. I., & Dalesman, S. (2018). Repeatability and degree of territorial aggression differs among urban and rural great tits (*Parus major*). *Scientific Reports*, *8*(1), 5042.
- Injaian, A. S., Taff, C. C., & Patricelli, G. L. (2018). Experimental anthropogenic noise impacts avian parental behaviour, nestling growth and nestling oxidative stress. *Animal Behaviour*, *136*, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.12.003>
- Kaiser, C. L., Girod, D. A., & Durham, D. (2005). Breed-dependent susceptibility to acute sound exposure in young chickens. *Hearing Research*, *203*(1), 101–111.
- Klett-Mingo, J. I., Pavón, I., & Gil, D. (2016). Great tits, *Parus major*, increase vigilance time and reduce feeding effort during peaks of aircraft noise. *Animal Behaviour*, *115*, 29–34.
- LaZerte, S. E., Slabbekoorn, H., & Otter, K. A. (2016). Learning to cope: Vocal adjustment to urban noise is correlated with prior experience in black-capped chickadees. *Proceedings of the Royal Society B*, *283*, 20161058. <http://doi.org/10.1098/rspb.2016.1058>
- Laiolo, P. (2011). The Rufous-Collared Sparrow *Zonotrichia capensis* utters higher frequency songs in urban habitats. *Revista Catalana d'Ornitologia*, *27*, 25–30.
- Mendes, S., Colino-Rabanal, V. J., & Peris, S. J. (2011). Diferencias en el canto de la Ratona Común (*Troglodytes musculus*) en ambientes con distintos niveles de influencia humana. *El Hornero*, *26*(2), 85–93.

- Narango, D. L., & Rodewald, A. D. (2015). Urban-associated drivers of song variation along a rural–urban gradient. *Behavioral Ecology*, 27(2), 608–616. <https://doi.org/10.1093/beheco/arv197>
- Nemeth, E., & Brumm, H. (2009). Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: Adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization? *Animal Behaviour*, 78(3), 637–641.
- Pacheco-Vargas, G., & Losada-Prado, S. (2015). Effect of the traffic noise on the songs of *Hylophilus flavipes* and *Cyclarhis gujanensis*. *Ciencia en Desarrollo*, 6(2), 177–183.
- Phillips, J. N., & Derryberry, E. P. (2018). Urban sparrows respond to a sexually selected trait with increased aggression in noise. *Scientific Reports*, 8(1), 7505.
- QGIS.org. (2018). *Sistema de Información Geográfica QGIS*. Proyecto de Fundación Geoespacial de Código Abierto. <http://qgis.org>
- Rieger, N. S., & Marler, C. A. (2018). The function of ultrasonic vocalizations during territorial defence by pair-bonded male and female California mice. *Animal Behaviour*, 135, 97–108.
- Ríos-Chelén, A. A., Cuatianquiz-Lima, C., Bautista, A., & Martínez-Gómez, M. (2018). No reliable evidence for immediate noise-induced song flexibility in a Suboscines. *Urban Ecosystems*, 21(1), 15–25.
- Ríos-Chelén, A. A., Quirós-Guerrero, E., Gil, D., & Garcia, C. M. (2013). Dealing with urban noise: Vermilion flycatchers sing longer songs in noisier territories. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67(1), 145–152.
- Rodewald, A. D., & Shustack, D. P. (2008). Urban flight: Understanding individual and population-level responses of Nearctic–Neotropical migratory birds to urbanization. *Journal of Animal Ecology*, 77(1), 83–91.
- Ryals, B. M., Dooling, R. J., Westbrook, E., Dent, M. L., MacKenzie, A., & Larsen, O. N. (1999). Avian species differences in susceptibility to noise exposure. *Hearing Research*, 131(1), 71–88.
- Sarria Dulcey, M. J. (2012). *Historia natural del Sirirí común (Tyrannus melancholicus, aves: Tyrannidae) en la Universidad del Valle, Colombia (Trabajo de grado)*. <https://hdl.handle.net/10893/22546>
- Scales, J., Hyman, J., & Hughes, M. (2013). Fortune favours the aggressive: Territory quality and behavioural syndromes in song sparrows, *Melospiza melodia*. *Animal Behaviour*, 85, 441–451.
- Scordato, E. S. C. (2018). Male competition drives song divergence along an ecological gradient in an avian ring species. *Evolution*, 72(11), 2360–2377.
- Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Frstrup, K. M., Brown, E., Warner, K. A., Nelson, M. D., White, C., Briggs, J., McFarland, S., & Wittemyer, S. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews*, 91(4), 982–1005.

- Schroeder, J., Nakagawa, S., Cleasby, I. R., & Burke, T. (2012). Passerine birds breeding under chronic noise experience reduced fitness. *PLoS ONE*, *7*(7), e39200.
- Slabbekoorn, H., Yang, X. J., & Halfwerk, W. (2012). Birds and anthropogenic noise: Singing higher may matter. *The American Naturalist*, *180*(1), 142–145.
- Sorace, A. (2002). High density of bird and pest species in urban habitats and the role of predator abundance. *Ornis Fennica*, *79*(2), 60–71.
- Stouffer, P. C., Chesser, R. T., & Jahn, A. E. (2020). *Tropical Kingbird (Tyrannus melancholicus)*, versión 1.0. In S. M. Billerman (Ed.), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bow.trokin.01>
- Szymkowiak, J., Thomson, R. L., & Kuczyński, L. (2016). Wood warblers copy settlement decisions of poor quality conspecifics: Support for the tradeoff between the benefit of social information use and competition avoidance. *Oikos*, *125*(11), 1561–1569. <https://doi.org/10.1111/oik.03052>
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R. B., Marques, T. A., & Burnham, K. P. (2010). Distance software: Design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*, *47*(1), 5–14.
- Villamizar-Soto, D., López-Delgado, E. O., & Losada-Prado, S. (2021). Variación del canto de *Myiothlypis fulvicauda* (Parulidae) en ambientes naturales de Ibagué (Tolima, Colombia). *Revista Mutis*, *11*(2), 22–32. <https://doi.org/10.21789/22561498.1733>
- Wiacek, J., & Polak, M. (2015). Does traffic noise affect the distribution and abundance of wintering birds in a managed woodland? *Acta Ornithologica*, *50*(2), 233–245.
- Winandy, G. S. M., Félix, R. P., Sacramento, R. A., Mascarenhas, R., Batalha-Filho, H., Japyassú, H. F., Izar, P., & Slabbekoorn, H. (2021). Urban noise restricts song frequency bandwidth and syllable diversity in bananaquits: Increasing audibility at the expense of signal quality. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *9*, 570420. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.570420>
- Yoon, J., Sillett, T. S., Morrison, S. A., & Ghalambor, C. K. (2012). Breeding density, not life history, predicts interpopulation differences in territorial aggression in a passerine bird. *Animal Behaviour*, *84*, 515–521.
- Zollinger, S. A., & Brumm, H. (2015). Why birds sing loud songs and why they sometimes don't. *Animal Behaviour*, *105*, 289–295.
- Zwart, M. C., Dunn, J. C., McGowan, P. J., & Whittingham, M. J. (2015). Wind farm noise suppresses territorial defense behavior in a songbird. *Behavioral Ecology*, *27*(1), 101–108.