



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

**Ruido urbano y comunicación acústica en aves:
evaluando el efecto del ruido en la conducta
territorial de un ave suboscina**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO (A) EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Nayeli Evelin Chavez Mendoza

Director de Tesis

Dr. Alejandro Ariel Ríos-Chelén

Tlaxcala, Tlax.

Noviembre, 2020



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

Nombre de la Tesis

Ruido urbano y comunicación acústica en aves:
evaluando el efecto del ruido en la conducta
territorial de un ave suboscina

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO (A) EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Nombre del Alumno

Nayeli Evelin Chavez Mendoza

Comité Tutorial

Dr. Alejandro Ariel Ríos-Chelén

Dra. Eira Bermúdez Cuamatzin

Dr. Amando Bautista Ortega

El presente trabajo se desarrolló en el Parque Ecológico Revolución Mexicana, Puebla y en el Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Maestría en Ciencias Biológicas, registrada en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).

Investigación financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (becario núm. 904346).



Universidad
Autónoma de
Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas
Coordinación de la División de Ciencias Biológicas
Secretaría de Investigación Científica y Posgrado

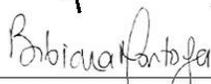
COORDINACIÓN POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO TLAXCALA DE BIOLOGÍA DE LA CONDUCTA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA
P R E S E N T E

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que **Nayeli Evelin Chavez Mendoza** realiza para la obtención del grado de Maestra en Ciencias Biológicas, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que ésta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevará es: **“Ruido urbano y comunicación acústica en aves: evaluando el efecto del ruido en la conducta territorial de un ave Suboscina”**.

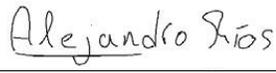
Sin otro particular, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE
TLAXCALA, TLAX., SEPTIEMBRE 22 DE 2020


DR. AMANDO BAUTISTA ORTEGA


DRA. BIBIANA CAROLINA MONTOYA
LOAIZA


DRA. ITZEL ARIAS DEL RAZO


DR. ALEJANDRO ARIEL RÍOS CHELÉN


DR. JORGE VÁZQUEZ PÉREZ



Sistema Institucional de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma:
ISO 9001:2015-NMX-CC-9001-IMNC-2015



AGRADECIMIENTOS

Al posgrado de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala y al Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC) por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Este proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (becario núm. 904346).

Al Dr. Alejandro Ríos-Chelén por su apoyo, guía, paciencia y consejos en este camino de aprendizaje hacia el Cardenalito, que para mí era nuevo.

A los miembros de mi Comité Tutoral, la Dra. Eira Bermúdez y el Dr. Amando Bautista por la revisión, comentarios y consejos a este proyecto.

AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL

A mi compañera y amiga del team Cardenalito, Sandra José por conseguir los permisos necesarios para realizar el experimento en el parque, y porque junto con su compañero de vida Cesar Cerón, me apoyaron en el muestreo y me recibieron con la mayor calidez en su hogar.

A mis amigos Luis E. Osorio y Yesenia Fernández porque junto con Sandra José pasamos momentos de enseñanza, apoyo, retroalimentación, descubrimiento, estrés, diversión... en fin, aprendizaje.

A Enrique Basurto por su compañerismo y amistad, dando consejos, sorprendiéndome y apoyándome en todo este tiempo.

A mis tíos, primos, sobrinos y cuñado(a) que me apoyaron y porque sé que siempre estarán celebrando conmigo cada paso en mi vida.

A Avigain y a Pablo, por su apoyo, guía y ejemplo, desde que era pequeña recuerdo querer hacer las cosas como ustedes y constantemente espero no equivocarme.

Finalmente, agradezco a mis papás, Pablo y Ma. de la Cruz por su apoyo y amor incondicional en esta etapa que decidí vivir. Gracias, por tanto.

A mis papás, a quien tanto amo, por ser mi inspiración, mi fuerza y mi paz.

A Pablo y Avi, por ser mi alegría, mis sueños y mi constancia.

A Kevin, Luis y Santiago, por ser la esperanza venidera.

A mi belita, por ser el amor incondicional.

RESUMEN

El ruido antrópico representa una presión de selección para aquellos organismos que se comunican con señales acústicas, como las aves. El ruido puede influir en la comunicación acústica sobre todo cuando sus frecuencias se superponen a las vocalizaciones de las aves, resultado en muchos casos en una reducción en su abundancia y diversidad. Estudios han abordado cómo, en un sistema de comunicación, el emisor modifica sus vocalizaciones para hacerlas más audibles en presencia de ruido. En el cardenalito (*Pyrocephalus rubinus*), los machos emiten cantos más largos en lugares con niveles de ruido alto, presumiblemente para hacerlos audibles. Sin embargo, pocos estudios han abordado el problema de cómo el ruido influye en el receptor.

El presente estudio aportará conocimiento para comprender cómo el ruido puede llegar a influir en la percepción de los cantos de las aves suboscinas como receptoras. Al mismo tiempo, se puso a prueba la hipótesis de que los cantos largos son más perceptibles que los cortos en condiciones ruidosas. Con un experimento de playback, se evaluó: la respuesta territorial, la latencia de respuesta, así como la máxima aproximación de 30 cardenalitos ante cantos cortos y cantos largos con y sin ruido antrópico. Encontramos que no hay variación significativa en la respuesta territorial, la latencia de respuesta y la máxima aproximación de los cardenalitos a los cantos largo y cortos, con y sin ruido. En contraste, se ven diferencias significativas en los llamados (tratamientos sin y con ruido) y el ruido ambiental antes del experimento, al parecer los cardenalitos de territorios más ruidosos responden con más llamados en comparación con los cardenalitos que se encuentran en territorios menos ruidosos.

No encontramos evidencia de que el ruido perturbe la percepción de los cantos, ni que los cantos largos sean más perceptibles que los cortos en condiciones ruidosas. No obstante, se pudo ver una relación significativa entre los llamados y el nivel de ruido ambiental de los territorios de los machos focales. Esto podría deberse a que los cardenalitos de los territorios con niveles mayores de ruido urbano podrían encontrarse bajo condiciones de estrés y esto podría provocar una respuesta mayor de llamados al playback.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ondas sonoras: cambios de presión en un medio. Para el canto de las aves el medio es el aire.

Amplitud: intensidad del sonido, representa el volumen del sonido y está relacionado con la altura de las ondas sonoras. Es la potencia de la fuente de sonido, o la fortaleza de la vibración que crea la onda. La unidad de medición son los decibeles dB.

Frecuencia: dice qué tan alto o bajo es el tono de un sonido y esto varía dependiendo de la longitud de onda. Sonidos agudos son frecuencias altas y sonidos graves frecuencias bajas. La frecuencia es medida en el número de ciclos por segundos KiloHertz (kHz).

Espectrograma: representación visual de las variaciones de la frecuencia, la intensidad del sonido (diferentes intensidades de colores) a lo largo del tiempo. La gráfica muestra la frecuencia en el eje Y (valores bajos graves, valores altos agudos), y el tiempo en el eje X (minutos: segundos).

Oscilograma: representa la variación de la presión sonora en función del tiempo. La gráfica muestra la amplitud (dB) en el eje Y (intensidad del sonido), y el tiempo en el eje X (minutos: segundos).

Comunicación: es el intercambio de señales entre individuos, emisor y receptor. Las señales para comunicarse pueden ser acústicas, visuales, táctiles, mecánicas y químicas.

Comunicación acústica: intercambio de información por ondas sonoras, que se pueden propagar por el agua, el aire, o algún sustrato. En el caso de las aves su comunicación es principalmente por señales acústicas.

Emisor: es aquel individuo que codifica un mensaje y lo transmite por algún medio hasta un receptor.

Receptor: es aquel individuo a quien va dirigida la señal, y realiza un proceso inverso al emisor, recibe y descifra información que lleva la señal.

Playback: reproducción de sonido en una bocina. Para el presente experimento, reproducción de los tratamientos en una bocina dentro del territorio del macho focal.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Las Aves Paseriformes y sus vocalizaciones.....	1
El ruido y la comunicación acústica de las aves	7
ANTECEDENTES.....	9
El ruido antrópico y su influencia en las señales acústicas de las aves	9
La percepción de las aves en ruido antrópico	11
El cardenalito (<i>Pyrocephalus rubinus</i>).....	14
Características de las señales acústicas del cardenalito	16
JUSTIFICACIÓN	19
HIPÓTESIS.....	20
PREDICCIÓN	20
OBJETIVOS.....	21
OBJETIVO GENERAL.....	21
OBJETIVOS PARTICULARES	21
METODOLOGÍA	22
Área de Estudio	22
Diseño experimental	23
Obtención y procesamiento de cantos y ruido urbano	26
Experimento de playback.....	27
Mediciones de conducta	28
Análisis de datos.....	29
RESULTADOS	31
Respuesta general al playback	31
Respuesta territorial ante presencia del ruido y diferentes longitudes del canto	31
Respuesta de llamados y vuelos	31
Latencia a llamar y a volar	33

Máxima aproximación	36
Ruido ambiental.	37
Número de vecinos	39
DISCUSIÓN	40
Comparación dentro del mismo individuo (entre ruido y no ruido)	41
Comparación entre individuos (cantos largos con-sin ruido y cortos con-sin ruido)	44
CONCLUSIÓN	47
PERSPECTIVAS	48
REFERENCIAS.....	50

INTRODUCCIÓN

Las Aves Paseriformes y sus vocalizaciones

El orden Paseriforme (grupo monofilético), también conocido como aves cantoras, es uno de los órdenes más diversos de aves, representado por más de la mitad de aves en el mundo, aproximadamente el 60% (con alrededor de 5 700 especies). Los passeriformes son divididos en dos subórdenes. Por un lado, los oscinos (Passeri) representado con más de 4 561 especies, y por otro los suboscinos (Tyranni), con aproximadamente 1 151 especies (Raikow y Bledsoe, 2000; Lovel y Lein, 2004; Botero-Orrego y Chaparro-Herrera, 2016).

Las aves de ambos subordenes desarrollan el canto de forma diferente, esta diferencia ha sido utilizada en muchos estudios para distinguir a oscinos de suboscinos. Por una parte, los oscinos, que desarrollan su canto a partir del aprendizaje (i.e. escuchando el canto de los adultos), y por otra, los suboscinos que de forma innata desarrollan sus vocalizaciones hasta llegar a un canto adulto, sin necesidad de aprender de otro adulto. Sin embargo, se sabe que hay al menos un ave suboscina que si aprende, el campanero blanco (*Procnias albus*) que habita en América del Sur (Raikow y Bledsoe, 2000; Marler y Slabbekoorn, 2004; Catchpole y Slater, 2008).

Las vocalizaciones emitidas por aves les permiten comunicarse, transmitiendo información del emisor al receptor; este último, tiende a modificar su comportamiento al percibir los sonidos (Collins, 2004). Estas vocalizaciones presentan particularidades propias como, por ejemplo, la frecuencia, amplitud, duración, número de elementos, etc. (Gordillo y cols. 2013). Si bien las señales visuales de las aves son de gran importancia, sobre todo en contexto de la reproducción, como lo podemos ver en sus coloridos plumajes, las vocalizaciones pueden llegar a ser una forma más eficaz de comunicación entre el emisor y el receptor, pues los sonidos pueden ser transmitidos rápidamente y además abarcan grandes áreas (Catchpole y Slater, 2008).

Para que un ave emita un canto el sistema de control vocal comienza principalmente en el cerebro anterior. Consiste en núcleos conectados entre sí, cinco en el cerebro anterior (el

estudio de Liu y cols., 2013, muestran que en aves suboscinas pueden tener menos de tres núcleos en el cerebro anterior), uno en el tálamo, uno en el cerebro medio y uno en el cerebro posterior. El núcleo que se encuentra en el tronco encefálico, inervan los músculos de la tráquea y la siringe, proporcionando vibraciones e información (e.g. estructura y número de notas) para la emisión del canto (Konishi, 1985; Mindlin y Laje, 2005; Liu y cols., 2013).

La tráquea y la siringe continúan con el mecanismo de emisión. La siringe es un órgano que les permite a las aves emitir sonidos, ubicado en la parte inferior de la tráquea, en la unión de los bronquios. La siringe está formada por cartílagos, membranas (timpaniformes), nervios y músculos asociados (Catchpole y Slater, 2008; Gordillo y cols. 2013). Los sonidos en la siringe comienzan desde que los músculos asociados a esta intervienen al abrir y cerrar el paso del aire que viene desde los pulmones y sacos aéreos, provocando así la vibración de las membranas timpaniformes y ondas sonoras del aire al pasar por estas, generando así el sonido que por último es modulado por el pico (Tubaro, 1999; Collins, 2004; Mindlin y Laje, 2005; Catchpole y Slater, 2008).

Se ha visto una correlación entre la apertura del pico y las frecuencias (que tan agudo o grave es el sonido). Cuando son emitidos sonidos de alta frecuencia, es decir agudos, el pico del ave está abierto completamente y de manera contraria, para emitir sonidos de baja frecuencia, es decir graves, el pico del ave debe estar casi cerrado (Catchpole y Slater, 2008). Muchas de las vocalizaciones de las aves son producidas en un intervalo de entre 2 a 6 kHz, es decir, una frecuencia baja (graves) (Botero-Orrego y Chaparro-Herrera, 2016).

Un rasgo que caracteriza a oscinos y suboscino es el número y complejidad de los músculos asociados a su siringe, los cuales promueven una modulación diferente del sonido. Los oscinos tienen más de siete músculos asociados a la siringe, es decir, este órgano está bien desarrollado y esto les permite emitir vocalizaciones complejas. Por su parte, los suboscinos tienen un órgano vocal menos desarrollado y cantos más simples, pues presentan menos de siete músculos asociados a la siringe (Mindlin y Laje, 2005; Catchpole y Slater, 2008, Botero-Orrego y Chaparro-Herrera, 2016).

El proceso de percepción ha sido poco estudiado, sobre todo en aves suboscinas, Se piensa que el mecanismo del canto evolucionó a partir de procesos asociados con la audición, es decir, la percepción (Liu y cols., 2013). De forma general en las aves, se sabe que el proceso de audición involucra al cerebro, pero comienza en el oído (externo) (Dooling y Blumenrath, 2013). Es decir, el meato auditivo externo el cual está protegido por plumas, continua con la membrana timpánica, la cual, vibra con los cambios de presión acústica, esta vibración es transmitida al oído interno por la columela (hueso que conforma el oído medio), que a su vez está conectada a la cóclea (esta última contiene líquido). La percepción sensorial continua en la cóclea, después pasa por mesencéfalo y al tálamo, para seguir al cerebro anterior, específicamente al área auditiva llamada campo L (Marler y Slabbekoorn, 2004; Mindlin y Laje, 2005; Catchpole y Slater, 2008; Dooling y Blumenrath, 2013). La percepción del sonido en aves es en frecuencias que están entre los 2 y los 6 kHz, con una mejor audición entre los 1 y 5 kHz, siendo sensibles a sonidos con frecuencias bajas de entre 2 y 3 kHz, y con un límite de audición a no más de 10 kHz (Catchpole y Slater, 2008; Dooling y Blumenrath, 2013).

Se sabe que las vocalizaciones de las aves cumplen principalmente dos funciones: la atracción de pareja y la defensa del territorio (Collins, 2004; Catchpole y Slater, 2008). Estas funciones están relacionadas con su reproducción, por lo que se piensa que los cantos pudieron haber evolucionado por medio de la selección sexual a través de generaciones (Gil y Gahr, 2002). Es decir, por medio de la selección inter sexual, cuando normalmente los machos atraen hembras con la vocalización emitida informando a ésta sobre su condición, edad, calidad, etc., o por medio de selección intra sexual, cuando los machos compiten entre sí por la hembra, o por el territorio con otro macho, o cuando la hembra compite con otra hembra por acceso a algún recurso reproductivo (Gil y Gahr, 2002; Price, 2013).

Así mismo, las vocalizaciones en las aves pueden dividirse en dos, llamados y cantos. Los cantos por su parte, son sonidos frecuentemente más largos, complicados y variados. En algunos grupos son producto del aprendizaje (oscinos, loros y colibríes), mientras que en otros como los suboscinos, son innatos (Catchpole y Slater, 2008, Ríos-Chelén, 2009). Su función principal es la comunicación intra e inter sexual (i.e. atracción de pareja y defensa del territorio). En zonas templadas, generalmente los cantos son vocalizados por machos durante la época

reproductiva; y en algunos lugares como en los trópicos las hembras también emiten cantos. (Herrera, 2013; Gill, 2006; Catchpole y Slater, 2008).

No obstante, un estudio de reconstrucción del canto en hembras, muestra que este atributo es ancestral, y que ha evolucionado en ambos sexos. En el caso de las hembras, al igual que con los machos puede indicar la condición de estas, su destreza competitiva, entre otras características. Pues también las hembras, experimentan competencia por los recursos ecológicos (Odom y cols., 2014). Además, se sabe que las hembras también pueden aprender las características de los cantos de los adultos y desarrollar una preferencia perceptiva hacia la vocalización del tutor sobre otros cantos (Catchpole y Slater, 2008).

Como ya se mencionó los cantos son largos y complejos, por lo que una forma de describir los cantos es caracterizando los elementos que lo conforman: frase, son secuencias de sílabas, las cuales se pueden repetir con un patrón en particular dentro de un tipo de canto. Las sílabas, pueden ser simples o complejas y están formadas por un elemento o por una combinación de dos o más, suelen estar separadas de la siguiente por un momento de silencio. La nota o elemento, es un sonido sencillo (*Figura 1*). Sin embargo, por la gran variedad y estructura de los cantos de las aves, los investigadores que trabajan en la comunicación acústica de estas, caracterizan la estructura del canto con el que trabajan arbitrariamente (Catchpole y Slater, 2008).

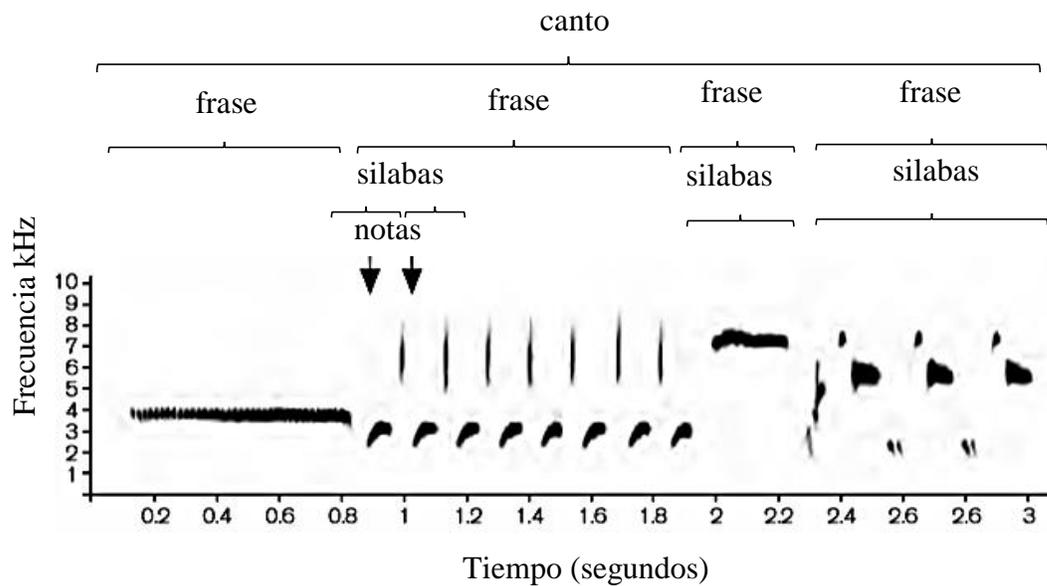


Figura 1. Espectrograma del canto del gorrión cantor (*Melospiza melodia*), mostrando las características del canto: frases, silabas y notas. (Gordillo y cols., 2013).

Mientras que los llamados son sonidos cortos y monosilábicos. Producidos por machos y hembras a lo largo de todo el año (Herrera, 2013; Gill, 2006; Catchpole y Slater, 2008). Dependiendo del mensaje que sea emitido, se pueden caracterizar por un rápido y breve ritmo de sonidos con una variación en la frecuencia (*Figura 2*). Las frecuencias bajas permiten al receptor detectar de dónde viene el sonido, mientras que los llamados con frecuencias altas le permiten percibir el sonido, pero no la posición del emisor (Catchpole y Slater, 2008).

Los llamados tienen funciones comparativamente más amplias que los cantos, sirven para dar alarma cuando se acercan depredadores, para la defensa de territorio, mientras se encuentran forrajeando, para la integración de grupos y mantener el contacto con la pareja e incluso para el cortejo, entre otras funciones (Marler, 2004). Por ejemplo, se ha visto que los llamados del mosquero alisero (*Empidonax alnorum*) pueden funcionar como señales más agresivas que los cantos en interacciones agonísticas (Lovel y Lein, 2004).

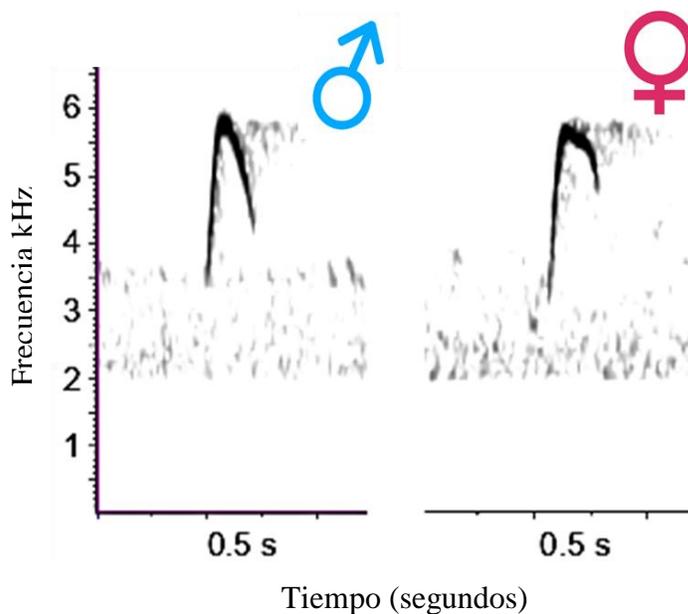


Figura 2. Espectrograma del llamado de cardenalito (*Phyrocephalus rubinus*). A la izquierda el de macho y a la derecha corresponde a una hembra. Un estudio reciente de Rios-Chelén y cols., 2020, muestra que hay dimorfismo acústico en el llamado del cardenalito.

Las características de las vocalizaciones de las aves están relacionadas con la capacidad de percepción (poder escuchar/detectar el sonido) y de discriminación (poder distinguir un sonido de otros, para identificar la especie que la está emitiendo o la categoría funcional del sonido) del receptor, con el mensaje emitido y con las propiedades acústicas del ambiente en el que se encuentran los individuos (Catchpole y Slater, 2008).

Diversos factores pueden influir en la llegada de la señal al receptor, como: 1) la distancia de la fuente de sonido a la que se encuentra el receptor, pues entre más lejos esté más débil le llegará la señal, 2) el ruido del ambiente y 3) sus frecuencias predominantes (kHz): cuanto más ruido en el ambiente más enmascarada estará la señal, sobre todo cuando sus frecuencias se superpongan con las frecuencias de la vocalización (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

El ruido y la comunicación acústica de las aves

En general el ruido es descrito como aquellos sonidos no deseados por los receptores, los cuales, reducen la capacidad de ellos para discriminar una señal (Ortega, 2012). En términos más precisos y de comunicación acústica, el ruido es descrito como sonidos interferentes en el fondo del ambiente durante la transmisión de las señales acústicas de un emisor a un receptor (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

En ambientes naturales puede haber ruido proveniente de fuentes bióticas (por vocalizaciones de otros organismos) y/o fuentes abióticas (ruido del viento provocado por el movimiento de la vegetación, la lluvia al caer, el agua que corre por los ríos, etc.), los cuales, producen una gama de frecuencias, desde el aire al pasar por la vegetación hasta vocalizaciones de otras especies. Por ejemplo, una corriente de agua puede generar niveles de ruido de hasta 4 kHz (Brumm, 2004; Marler y Slabbekoorn, 2004).

La intensidad del ruido ambiental (biótico/abiótico) en diferentes frecuencias (perfiles espectrales) son específicos de cada hábitat. Por ejemplo, el ruido que produzca el viento al paso por la vegetación dependerá de la densidad de esta última (Slabbekoorn, 2004). Mientras que la vegetación densa absorbe más rápidamente las frecuencias más altas (sonidos agudos), por lo que las aves presentan cantos con frecuencias más bajas (sonidos relativamente más graves) en áreas con mucho follaje (Catchpole y Slater, 2008; Botero-Orrego y Chaparro-Herrera, 2016). Y el ruido producido por los animales dependerá del número de estos. La influencia del ruido en las señales acústicas depende de la superposición de las frecuencias del ruido y de la señal, pudiendo causar el enmascaramiento de la señal (Brumm, 2004). Por ejemplo, la superposición acústica entre los cantos de las aves dependerá de la similitud de los sonidos que emita cada ave, además de otros factores como la altura de la percha o el horario en el que emita sus cantos (Todt y Naguib, 2000).

El ruido también varía en el tiempo, pues las diferentes fuentes emisoras (ya sean bióticas, abióticas o antrópicas) pueden tener patrones temporales, del mismo modo, los organismos pueden seleccionar hábitats menos ruidosos o simplemente evitarlos (Gill y cols, 2015a). El ruido crónico puede llegar a influir en la capacidad de los organismos para percibir

sonidos, mientras que el ruido intermitente podría ser percibido como una amenaza (Francis y Barber, 2013).

El ruido antrópico por sus características acústicas (frecuencia bajas kHz y mayores amplitudes que el ruido biótico y abiótico) puede influir en la comunicación acústica de las aves (Francis y Barber, 2013). Incluso el ruido de baja frecuencia podría distorsionar las notas, haciendo que estas sean percibidas como notas con mayor frecuencia y/o amplitud. Sin embargo, una distorsión también podría afectar el reconocimiento de la señal (Brumm y Slabbekoorn 2005; Kight y Swaddle, 2011; Blickley y Patricelli, 2012).

El comportamiento de las aves puede diferir dependiendo del nivel de ruido de las áreas que habitan. Si bien hay aves que modifican sus señales en respuesta al ruido también algunas otras que no lo hacen (Bermudez-Cuamatzin y cols., 2010; Francis y cols., 2010). Por ejemplo, un experimento con el pinzón doméstico (*Carpodacus mexicanus*) muestra que emiten cantos con frecuencias mínimas más altas en áreas ruidosas que en áreas tranquilas, y también da evidencia sobre la plasticidad del tono de las sílabas (Bermudez-Cuamatzin y cols., 2010). Por otro lado, la investigación de Francis y colaboradores (2010), muestra como dos aves suboscinas responden de forma diferente al ruido antrópico, una no muestra cambios en su comportamiento en presencia de ruido, mientras que la otra se ve influenciada por este.

Del mismo modo, un estudio con aves paseriformes relacionadas, muestra como en presencia de ruido los vireos plumizos (*Vireo plumbeus*) emiten cantos más cortos con frecuencias mínimas más altas y los vireos grises (*Vireo vicinior*) vocalizan cantos más largos con frecuencias máximas más altas. Como lo muestran los estudios anteriores, aparentemente los ajustes de las señales acústicas, así como el comportamiento de respuesta de las aves depende del ruido y la capacidad de estas para modificar las vocalizaciones que emiten. Y la respuesta de cada especie, aun si están relacionadas, son diferentes incluso en ruido similar.

ANTECEDENTES

El ruido antrópico y su influencia en las señales acústicas de las aves

El nivel del desarrollo urbano ha ido en aumento y ha provocado un incremento del ruido antrópico, en áreas rurales y hábitats naturales, afectando la vida silvestre, influyendo en las señales acústicas de los animales que las utilizan para comunicarse como los primates, cetáceos, roedores, y aves (Brumm y Slabbekoorn, 2005; Barber cols., 2010; Kight y Swaddle, 2011).

El ruido puede afectar la comunicación acústica al limitar el área en la que es percibida la señal (espacio activo) (Brumm y Slabbekoorn, 2005). Las actividades humanas en ciudades, zonas agrícolas, mineras y las generadas en las redes de transporte, son algunas fuentes de ruido antrópico, que emiten típicamente frecuencias bajas de alta intensidad (amplitud), y estas a menudo se solapan con las frecuencias que usan animales como las aves para comunicarse, lo que puede resultar en una interrupción de la comunicación acústica (Barber cols, 2010).

Las bajas frecuencias del ruido podrían distorsionar las notas, haciendo que estas sean percibidas como notas con mayor frecuencia y/o amplitud. Sin embargo, una distorsión también podría afectar el reconocimiento de la señal (Brumm y Slabbekoorn 2005; Kight y Swaddle, 2011; Blickley y Patricelli, 2012). Así como que el individuo discrimine las señales importantes de otras que no lo son (e.g. si provienen de su cría, de un vecino y/o de su pareja) y así obtener información relevante que le permita tomar la mejor decisión (e.g. alimentar o no a su cría, aparearse o no con cierto individuo, o conocer la calidad del individuo que está emitiendo la señal) (Lohr cols., 2003; Gil y Gahr 2002, Blickley y Patricelli, 2012).

En el caso de las aves, esto es de gran relevancia ya que utilizan señales acústicas especialmente para atraer pareja y defender su territorio, funciones íntimamente relacionadas con su reproducción (Catchpole y Slater, 2008), por lo que la presencia de ruido en sus hábitats, puede resultar en una disminución del éxito reproductivo, abundancia y diversidad de aves (MacDougall-Shackleton y cols, 2009; Kight y cols, 2012; Francis y cols, 2011b; Halfwer y cols, 2011; Dutilleux, 2012; Bottalico y cols. 2015).

En este contexto, investigaciones han sido enfocadas en sus cantos y la influencia del ruido en estos. Se ha encontrado que las aves pueden desarrollar estrategias para que sus cantos sean más audibles o lleguen al receptor adecuado cuando se encuentran bajo condiciones de ruido (e.g. Brumm y Slabbekoorn, 2005; Wood y Yezerinac, 2006; Patricelli y Blichley, 2006; Ríos-Chelén, 2009). Por ejemplo, se ha observado que hay una relación positiva entre los niveles de ruido y la amplitud de los cantos del ruiseñor (*Luscinia megarhynchos*), lo que da cuenta de la gran importancia de cambios en la amplitud para comunicarse en un ambiente ruidoso. Este cambio en la amplitud aumenta la proporción señal ruido y hay una mayor probabilidad de que el ruiseñor sea escuchado (Brumm, 2004).

Otras aves como el carbonero común (*Parus major*), hacen sus cantos más agudos en condiciones ruidosas, evitando que las frecuencias del ruido se superpongan a las del canto. (Slabbekoorn y Peet, 2003; Brumm y Slabbekoorn, 2005), vocalizan en momentos del día cuando el nivel del ruido es más bajo, como el petirrojo europeo (*Erithacus rubecula*) (Fuller cols., 2007; Gil cols., 2015), o emitir cantos con más elementos en condiciones ruidosas como el mosquero cardenal (*Pyrocephalus rubinus*) (Ríos-Chelén cols., 2013). Sin embargo, estos estudios han abordado el problema de cómo influye el ruido urbano en la comunicación desde el punto de vista del emisor y sus señales, dejando de lado al receptor. Para tener un mejor entendimiento de cómo el ruido afecta la comunicación es importante entender también cómo éste influye o no en el receptor.

El enmascaramiento de las señales acústicas de las aves por el ruido, reduce el espacio acústico (distancia a la que la señal acústica puede ser percibida). Ya que el enmascaramiento depende de las frecuencias (que tan graves o agudas son los sonidos) de la señal y del ruido, es probable que cada una de las notas de un canto pueden ser enmascaradas en diferentes grados (Brumm, 2004; Blichley y Patricelli, 2012; Dooling y Blumenrath, 2013).

Al mismo tiempo, la mayoría de los estudios han abordado cómo el ruido ambiental influye en los cantos de los Paseriformes, principalmente en oscinos. Estas investigaciones han demostrado que varias especies de oscinos, modifican su canto posiblemente para adaptarse al ruido, lo que les permite tener comunicación acústica en presencia de ruido antrópico (e.g. Slabbekoorn y Peet, 2003, Ríos-Chelén cols., 2005, Blichley y Patricelli, 2012). En contraste,

poco es conocido sobre cómo el ruido puede afectar el proceso de comunicación en aves suboscinas.

Francis y colaboradores (2011a), mostraron en un estudio con dos especies de aves suboscinas, que el mosquero de garganta ceniza (*Myiarchus cinerascens*) es capaz de vocalizar a frecuencias más altas (agudo) en condiciones ruidosas, mientras que el mosquero gris (*Empidonax wrightii*) o cambia la frecuencia de sus cantos en condiciones ruidosas. Los autores sugieren que el cambio de frecuencia ante el ruido en el mosquero de garganta ceniza, podría ser un mecanismo de estas aves para lidiar con las dificultades en la comunicación en hábitats ruidosos. Como lo muestra el estudio anterior no todos los mosqueros responden al ruido de la misma manera.

Como se mencionó antes, las aves suboscinas no aprenden a cantar y en general se piensa que sus cantos son menos variables que los de las aves oscinas, lo que podría hacerlas menos capaces para modificar sus cantos en presencia de ruido haciéndolas más vulnerables (Ríos-Chelén cols. 2012).

La percepción de las aves en ruido antrópico

Lohr y colaboradores en el 2003 evaluaron en condiciones de laboratorio la capacidad del periquito australiano (*Melopsittacus undulatus*) y del pinzón cebra (*Taeniopygia guttata*) para detectar y discriminar señales acústicas con un fondo ruidoso. El experimento fue por condicionamiento operante. Los investigadores utilizaron tres señales acústicas: el canto de los periquitos australianos, el de los pinzones y el de canarios, en dos condiciones, una con ruido y otra solo los llamados digitalizados. Para la detección de llamados realizaron una comparación del tiempo de respuesta de las aves (segundos en que las aves picoteaban una tecla que encendía a su vez un led) durante la condición de ruido y la de solo llamados. Para la discriminación, colocaron los llamados con ruido de fondo y los individuos debían picotear el led hasta que el llamado se escuchara más que el ruido. Este estudio mostro que para los canarios y los pinzones cebra es más fácil de detectar los llamados de los periquitos y los de canarios que los llamados de los pinzones. Además, su trabajo muestra evidencia de que, para un nivel dado de ruido, la

discriminación de llamados es más difícil que la detección de estos y mencionan que la modulación de la amplitud mejora la detección de una señal acústica en ambientes ruidosos y si un ave ajusta la amplitud de sus vocalizaciones, los niveles de ruido ambiental podrían no ser perjudicarles para su comunicación acústica.

Por su parte Blickley y Patricelli (2012) evaluaron el potencial del ruido producido por infraestructuras de gas natural para enmascarar las notas de los cantos del urogallo de las artemisas (*Centrocercus urophasianus*). Para esto, grabaron las vocalizaciones de los urogallos machos, así como el ruido ambiental en los territorios de estos. Después, analizaron los elementos de las vocalizaciones de cada uno de los urogallos grabados y el ruido producido por la infraestructura de gas natural, obteniendo el potencial del ruido para enmascarar las vocalizaciones a larga y corta distancia. Los investigadores observaron que el ruido se superpone y enmascara las vocalizaciones de estos galliformes, provocando una interrupción en la comunicación. Además, el ruido con baja frecuencia enmascara las señales acústicas de estas aves, reduciendo la detección y la discriminación de los componentes de sus vocalizaciones. Las frecuencias del ruido producido por las infraestructuras de gas natural (frecuencias típicamente graves) se superponen a las notas de frecuencia baja (graves) de los cantos de los urogallos. De igual manera, a cierta distancia (de 75 a 400 m) de la fuente de ruido las notas con menor amplitud (intensidad) son enmascaradas por este.

En un primer estudio Pohl y colaboradores (2009) compararon el efecto del enmascaramiento del canto (ocho señales de prueba, con diferencias en la frecuencia y amplitud) del carbonero común (*Parus major*) por el ruido urbano, ruido de bosque y el ruido producido por los cantos del coro del amanecer y condiciones silenciosas, el experimento se llevó a cabo en condiciones de laboratorio, utilizando condicionamiento operante. Obtuvieron el umbral de respuesta o de detección con las tasas de respuesta correcta (cuando los individuos picoteaban la tecla durante el tiempo estimando, 2s) y la tasa de falsa alarma (cuando el individuo no picoteaba la tecla). Los investigadores comprobaron que tanto las características de la señal (frecuencia kHz, amplitud) como las de los ruidos de fondo, pueden influir en la detección de las señales acústicas, siendo el ruido urbano el que más afecta la detección en comparación con los otros ruidos. Este estudio también muestra que la detección de las señales se ve

significativamente influenciada por los sonidos comparados (enmascaradores). Siendo el ruido de los cantos del coro del amanecer los que más enmascaran las señales acústicas.

Después en el 2012, Phol y colaboradores, evaluaron el impacto del ruido urbano y del ruido de bosque en la percepción de carbonero común (*Parus major*) en condiciones de laboratorio utilizando la misma metodología del experimento anterior, evaluaron ocho cantos de prueba con ruido urbano y con ruido de bosque de fondo. Mientras que, para los umbrales de discriminación, evaluando los mismos ocho cantos (solo uno de los cantos fue reproducido a un tiempo diferente) con los mismos ruidos de fondo, registraron la latencia de respuesta, las latencias de respuesta. Las latencias de respuesta cortas indicaban que los sujetos eran capaces de discriminar entre cantos y las latencias de respuesta largas indicaban que las señales no eran diferenciadas o eran similares (no discriminaban entre cantos). Los investigadores reafirman que los cantos son generalmente más difíciles de detectar con ruido urbano de fondo que con ruido del bosque, además, los cantos con más elementos (tres) más fáciles de detectar que los de menos elementos (dos). Además, concluyeron que los cantos de alta frecuencia son más fáciles de detectar y discriminar que los cantos de baja frecuencia en condiciones de ruido urbano (ambos experimentos en condiciones de laboratorio).

En el 2013, Phol y colaboradores, en un experimento en laboratorio con carbonero común (*Parus major*) estiman los umbrales de detección para cantos de diferente duración utilizando la metodología de los dos experimentos anteriores. Evaluaron los efectos de la frecuencia de la señal (cantos de carbonero común, kHz), la duración de la señal (4 diferentes duraciones, minutos/segundos) y los efectos de la condición de fondo (silencia, ruido urbano y ruido de bosque), con las tasas de respuestas y de falsas alarmas de los individuos en condiciones de ruido urbano, ruido de bosque y condiciones silenciosas. El experimento muestra que los umbrales de detección disminuyen al aumentar la duración de la señal, esto quiere decir que los carboneros no necesitan una amplitud (intensidad) alta con relación al ruido cuando los elementos de los cantos son más largos. Pues, mientras que los elementos del canto sean largos, la intensidad de estos no tiene que ser alta, para ser detectados por el receptor. De manera contraria, elementos cortos tendrían que ser más intensos para poder ser detectados en ruido.

Recientemente, en el 2019 Grabarczyk y Gill con un experimento de playback en donde reprodujeron cantos con y sin ruido simulando a un intruso cerca de los nidos de chochín criollo (*Troglodytes aedon*), evaluaron la detección y respuesta de cantos de su misma especie en condiciones de ruido urbano, así como solo ruido. Compararon la respuesta vocal (tasa de canto (# de cantos/min), duración (s) y frecuencia máxima de los cantos (kHz)) de los machos, el número de ataques a la bocina, así como el número de veces que el macho voló hacia o sobre la bocina, y la latencia (s) de los machos antes y durante los tratamientos. El estudio encontró que el ruido no afectó la capacidad de los machos para detectar a un intruso. Los machos respondieron a los intrusos con y sin ruido con cantos más largos y ritmo más rápido, más que cuando se les fueron expuestos a solo ruido. También se ve un aumento en la frecuencia máxima de los cantos durante los tratamientos sin ruido en comparación con solo ruido. Por último, el número de ataques de los machos hacia el altavoz fue mayor cuando escuchaban los tratamientos con ruido que sin ruido. Los autores creen que probablemente los machos eran menos capaces de evaluar a los intrusos por el ruido, entonces requerían acercarse (atacar) más al altavoz para así obtener información.

Un estudio reciente de Lenis y Guillermo-Ferreira (2020) sobre el efecto del ruido en la respuesta conductual a la intrusión territorial del pitohué (*Pitangus sulphuratus*) un ave suboscina, muestra una comparación de la latencia a la respuesta de señales visuales (individuo elaborado de peluche) y de playbacks (normalizados a 80 dB), de individuos en áreas urbanas y rurales. Donde como resultado obtuvieron una correlación positiva de la latencia (de vuelos y vocalizaciones) con la contaminación acústica. Resaltan que el ruido antrópico puede interferir en la comunicación acústica y afectar el comportamiento territorial de los pitohué. Sin embargo, cuatro individuos de territorios urbanos y dos individuos de territorios no urbanos no respondieron a los estímulos visuales y de playback. En dos casos más, las aves no encontraron los estímulos, aunque parecían estar buscándolos.

El cardenalito (Pyrocephalus rubinus)

Pyrocephalus rubinus, cardenalito, es un ave suboscina perteneciente a la familia Tyrannidae con amplia distribución geográfica y tolerancia ecológica. Se distribuye en América, desde el

sur de los Estados Unidos hasta el norte de Chile y centro de Argentina. Habita lugares abiertos con árboles o arbustos dispersos, áreas perturbadas por el humano, campos de cultivos, bordes de caminos y carreteras constituyen un hábitat ideal (Borrero, 1972; Wolf y Jones, 2000).

Los cardenalitos presentan dimorfismo sexual, se puede distinguir fácilmente al macho ya que destaca por el vistoso color rojo encendido presente en la cabeza, cuello, pecho y zona ventral, mientras que un tono gris oscuro y pardo cubre el pico, ojos, oídos, una parte del cuello, las alas y la cola. En contraste la hembra presenta un color gris cenizo opaco, su vientre y sus costados presentan tonos variantes como blancos amarillentos o ligeramente rosados; estos colores la hacen menos vistosa a la hembra y e incluso a corta distancia se camuflajea con el follaje (Borreo, 1972; Wolf y Jones, 2000). Los individuos de esta especie se perchan sobre ramas horizontales salientes de los árboles y arbustos o lugares que les permiten posarse, forrajear y cazar insectos que se encuentren en los alrededores. Generalmente cazan al vuelo mediante vuelos rápidos y ágiles, desde pequeños insectos o artrópodos hasta organismos de tamaño considerable (Borreo, 1972).

Los cardenalitos son monógamos, mantienen parejas estables durante toda la temporada reproductiva (desde febrero hasta principios de agosto), la formación del nido inicia inmediatamente después de la formación de pareja. La incubación de los huevos (de 2 a 3 huevos) es de aproximadamente 14 días; el desarrollo de los polluelos en el nido requiere el mismo periodo que de incubación. El proceso reproductivo, desde que inician la construcción del nido hasta la dispersión de los pollos es de aproximadamente 64 días (Borreo, 1972).

Pyrocephalus rubinus es un ave muy territorial, con territorios bien definidos y fáciles de delimitar, sobre todo en temporada reproductiva. Smith (1970) describe despliegues de vuelos acompañados de vocalizaciones como una proclamación territorial. Las observaciones de campo y experimentos de playback de Ríos-Chelén y Macías-García en el 2007 mostraron que los machos responden a intrusos con llamados cortos y agudos y realizan vuelos de percha en percha hacia el intruso, delimitando su territorio durante el día. Mientras que en el amanecer lo delimitan mediante cantos antes y durante el coro de la mañana.

Características de las señales acústicas del cardenalito

El cardenalito macho es un ave que emite solo un tipo de canto mientras esta posado, sobre todo durante el amanecer; este canto fue llamado por primera vez Vocalización Repetida Regularmente (RRV, Smith, 1967). Los machos presentan una mayor tasa de canto durante la temporada reproductiva (cuando tienen territorios bien definidos), especialmente durante el amanecer.

El canto del mosquero cardenal se compone de dos partes: la primera parte constituida por elementos introductorios (EI) seguidos por dos elementos de frecuencia media (EFM), un elemento de alta frecuencia (EAF) y un elemento terminal con duración prolongada (ET) (*Figura 3*). El canto presenta una frecuencia mínima de entre 3 a 3.8 y una frecuencia máxima de entre 5.5 a 6.4, y su frecuencia pico se encuentra en 4.6 kHz, es decir su frecuencia de máxima energía (Ríos-Chelén cols., 2005).

Los elementos introductorios que componen la primera parte del canto son un atributo que presenta mayor variación inter-individual, mostrando un aumento en su número conforme avanza la época reproductiva, cuando las hembras son potencialmente fértiles (Ríos Chelén cols., 2005). Existe evidencia sobre la ocurrencia de plasticidad del canto en esta especie, pues los individuos aumentan ligeramente el número de elementos en sus cantos (Ríos-Chelén cols., 2013) y reducen la entropía de este (una medida de tonalidad), cuando se acerca el amanecer (Ríos-Chelén cols., 2018).

Los cardenalitos machos presentan una respuesta más fuerte a cantos largos que a cantos cortos; esto abre la posibilidad de que los cantos largos puedan ser usados por el emisor como una señal más agresiva para defender su paternidad cuando su pareja es potencialmente fértil (Ríos-Chelén y Macías-García, 2007).

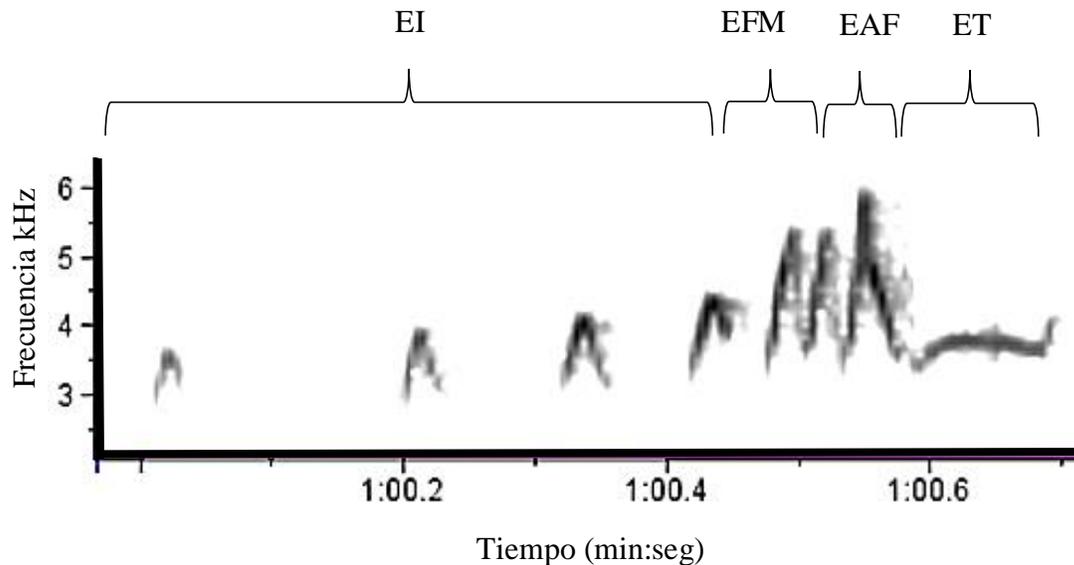


Figura 3. Espectrograma de canto del cardenalito (*Phyrocephalus rubinus*), que muestra los componentes de su canto. EI – Elementos Introdutorios, EFM – Elementos de Frecuencia Media, EAF – Elemento de Alta Frecuencia y ET – Elemento Terminal.

Estas aves cantan en secuencias o en grupos de cantos (i.e. cuatro grupos de cantos conformados a su vez por cuatro cantos), con espacios de silencio separándolos. Rivera-Cáceres y colaboradores (2011) mostraron que los machos varían en el tamaño de grupo de canto y que pueden discriminar entre diferentes grupos, sugiriendo que el tamaño de grupo confiere información sobre nivel de amenaza en interacciones macho-macho por disputas territoriales.

Ríos-Chelén y colaboradores (2013) reportan que los cardenalitos machos que viven en lugares más ruidosos tienen cantos más largos, mientras que los machos que viven en lugares más tranquilos cantan cantos largos y cortos. Estos investigadores sugieren que producir cantos más largos (con mayor número de elementos introductorios) en ambientes ruidosos probablemente les permite a los cardenalitos hacer los cantos más audibles y así transmitir la información al receptor adecuado en condiciones ruidosas (*Figura 4*).

De ser así, esperamos que al ser cantos largos (con más elementos introductorios), sin importar si hay ruido de fondo, los cardenalitos los van a percibir y su respuesta territorial será

mayor que si fueran cantos cortos, pues estos, al ser cortos serán mayormente enmascarados por el ruido y la respuesta territorial de los machos será menor. Y así comprobar si los cantos largos con más audibles que los cortos en condiciones ruidosas.

También, predecimos que el ruido urbano influirá en la percepción de los cardenalitos, al superponerse a las frecuencias de los cantos. Entonces los machos presentaran una respuesta menor cuando se les reproduzca los cantos con ruido en comparación con los cantos sin ruido, que al no tener frecuencias de ruido superpuestas van a ser mejor percibidos por los machos, y su respuesta territorial será mayor.

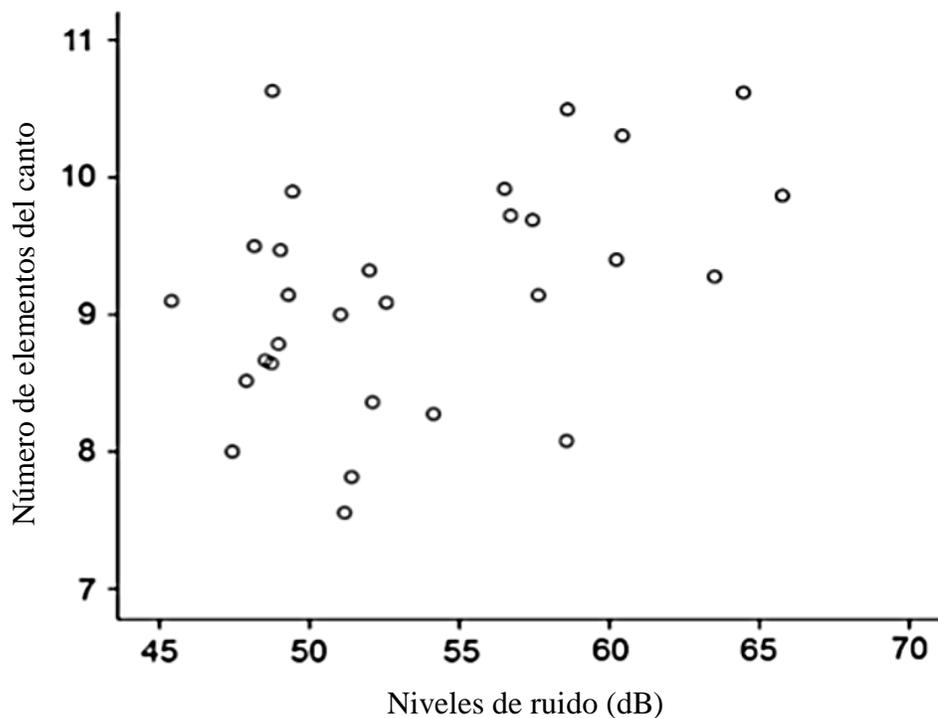


Figura 4. La gráfica muestra una asociación positiva y significativa entre el ruido y el número de elementos del canto de cardenalitos ($\beta=0.41$, $P= 0.025$, $n= 29$). Los machos de territorios más ruidosos emitieron cantos con más elementos, en este caso más de diez (Ríos-Chelén cols., 2013).

JUSTIFICACIÓN

El presente estudio generará conocimiento que permita comprender cómo el ruido puede influir en la percepción de los cantos de aves suboscinas y aportará información sobre el proceso de comunicación. La meta es comprender si la probabilidad de percepción en condiciones ruidosas aumenta con cantos largos como propone Ríos-Chelén y cols. (2013). Para ello se tomará en cuenta el estudio previo en el que se evaluó la respuesta del emisor (Ríos-Chelén cols., 2012, 2018) y en este estudio se ampliará para evaluar al receptor.

HIPÓTESIS

1. El ruido urbano perturba la percepción de los cantos de cardenalitos machos.
2. Los cantos largos serán más perceptibles que los cantos cortos en condiciones ruidosas.

PREDICCIÓN

1. La conducta territorial de los cardenalitos machos será menor cuando escuchen cantos con ruido que cantos sin ruido.

Es decir, la respuesta de llamados, vuelos de percha en percha, la latencia de la conducta y la máxima aproximación de los cardenalitos machos, será menor cuando sean reproducidos los cantos con ruido que los cantos sin ruido.

2. La diferencia de respuesta territorial de los cardenalitos machos al escuchar cantos con ruido y cantos sin ruido será menor cuando escuchen cantos largos que cuando escuchen cantos cortos.

Es decir, la diferencia en la respuesta de llamados, vuelos de percha en percha, la latencia de la conducta y la máxima aproximación de los cardenalitos machos, cuando se reproduzcan cantos con ruido y sin ruido será menor ante cantos largos que ante cantos cortos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia del ruido urbano y la longitud del canto en la percepción del canto de los cardenalitos machos a través de su conducta territorial.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Comparar la percepción de los cardenalitos a través de sus llamados y de sus vuelos de percha en percha ante cantos con ruido y cantos sin ruido.
2. Evaluar si existe una interacción entre la longitud del canto y el ruido urbano sobre la percepción de los cardenalitos a través de su conducta territorial.

METODOLOGÍA

Área de Estudio

Este estudio se realizó en el Parque Ecológico Revolución Mexicana ($19^{\circ} 02' 91.51'' \text{N}$, $-98^{\circ} 18' 57.80'' \text{W}$), Puebla, México (Figura 5). Este parque posee una superficie de 58 hectáreas, un aviario con más de 50 especies, tres jardines botánicos y un lago artificial, además cuenta con amplios senderos que permiten a los visitantes disfrutar de la naturaleza. Este parque tiene como finalidad fomentar la conservación ambiental. Es visitado por las personas para practicar deportes y actividades recreativas.



Figura 5. Plano del Parque Ecológico Revolución Mexicana, Puebla. Los puntos rojos representan los sitios de percha de los 30 cardenalitos machos muestreados durante la época reproductiva. Imagen tomada de Google maps.

El experimento se llevó a cabo del 15 de abril al 30 de mayo del 2019. Ya que los cardenalitos poseen territorios bien definidos y una percha distintiva (ver arriba en antecedentes), se identificó a cada individuo por la percha en la que cantaban. (Figura 5).

Diseño experimental

Durante el minuto de playback, cada macho ($N = 30$) fue expuesto exactamente al mismo canto, una vez con ruido y otra sin ruido. Es decir, cada individuo estuvo expuesto a dos tratamientos; cantos con ruido y cantos sin ruido. La mitad de los machos ($n= 15$) fueron expuestos a cantos largos de ocho elementos introductorios con y sin ruido y la otra mitad ($n= 15$) a cantos cortos de cuatro elementos introductorios con y sin ruido. (Figura 6).

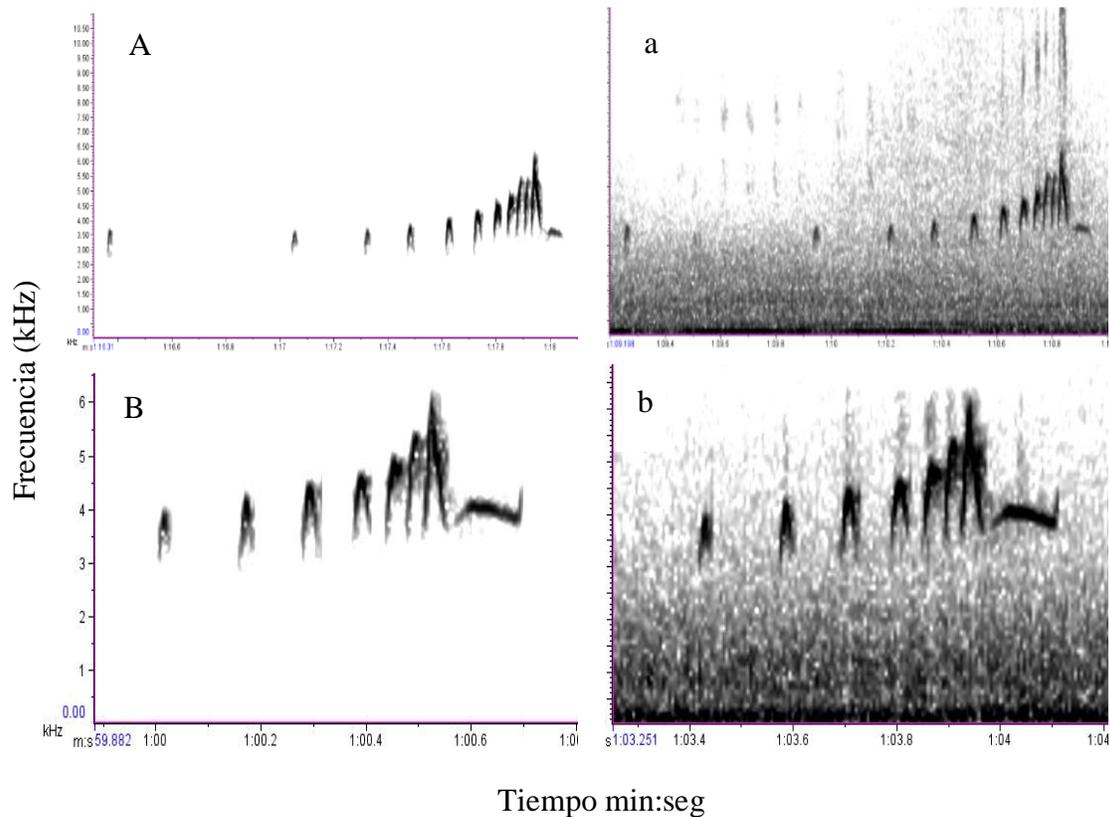


Figura 6. Ejemplo de espectrogramas de los tratamientos utilizados en el experimento de playback. Mientras que las imágenes A - B muestran cantos sin ruido, las imágenes a - b muestran cantos con ruido. Las imágenes superiores A – a, muestran el mismo canto largo con 8 elementos introductorios y las inferiores B – b, muestran el mismo canto corto con 4 elementos introductorios. Cada macho estuvo expuesto exactamente al mismo canto, largo o corto, pero una vez con ruido y otra sin ruido.

Cada cardenalito estuvo expuesto a: un minuto de pre-playback (con el volumen de la bocina en cero), durante el cual el cardenalito estuvo expuesto al ruido ambiental de su territorio;

seguido de un minuto de playback (cuando se reprodujeron los cantos largos o cortos con y sin ruido); seguido de otro minuto de post-playback (con el volumen de la bocina en cero) exponiéndolo como al ruido ambiental de su territorio (*Figura 7*).

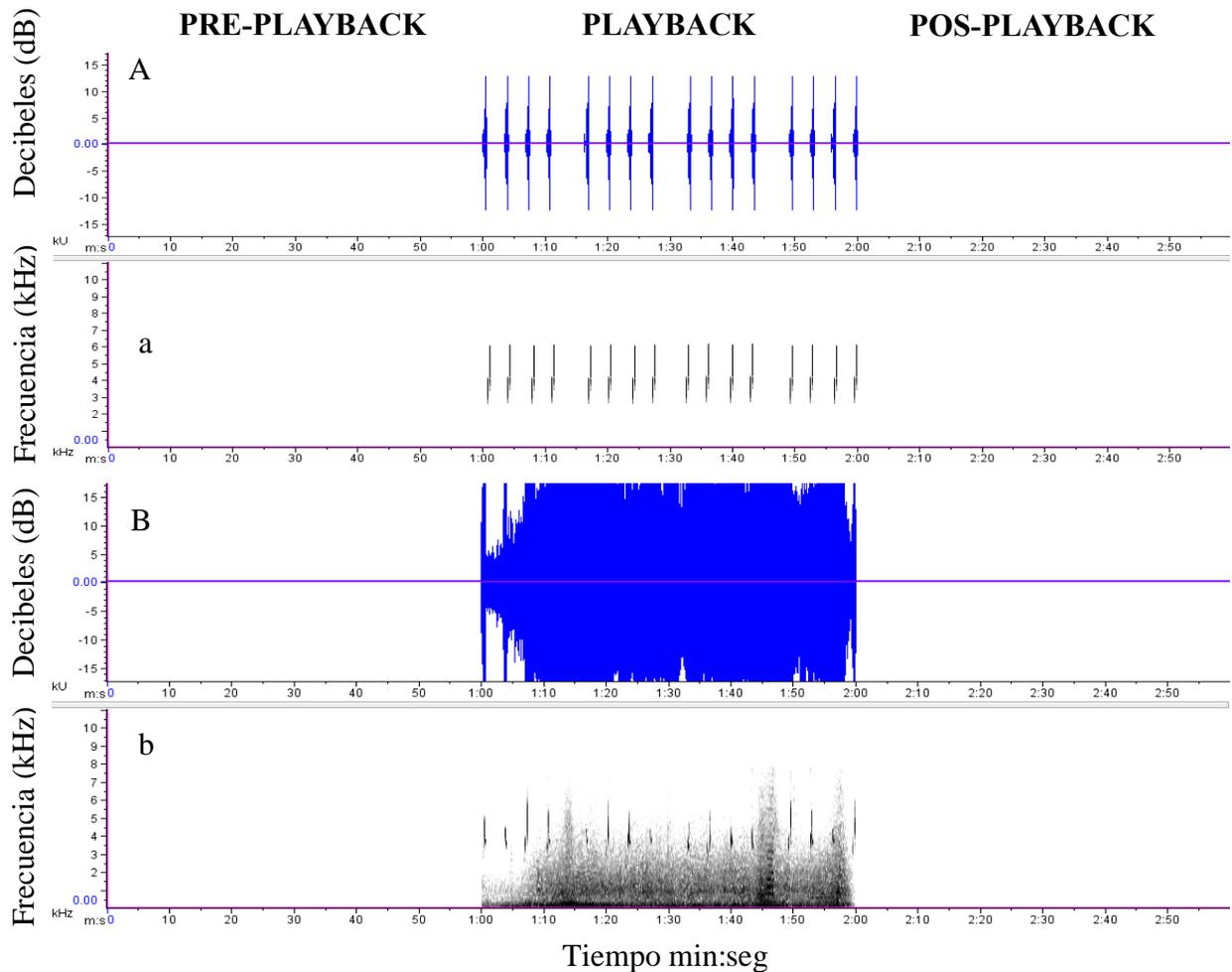


Figura 7. Ejemplos de Oscilograma (A-B) y espectrograma (a-b) de las pruebas utilizadas en el experimento de playback, las líneas azules y negras del centro de las figuras son cada uno de los cantos. Cada prueba consistió en tres minutos, comenzando con un minuto de silencio PRE-PLAYBACK en el cual la bocina estaba con el volumen en cero en donde los individuos estuvieron expuestos únicamente al ruido ambiental de su territorio, siguiendo con un minuto de PLAYBACK cuando los individuos estuvieron expuestos a cantos largos o cortos con o sin ruido. Posteriormente, las aves estuvieron expuestas a un minuto de POS-PLAYBACK, cuando la bocina se mantuvo con el volumen en cero y los individuos estuvieron expuestos otra vez a ruido ambiental. En ambas imágenes se muestra exactamente el mismo canto, en la imagen superior sin ruido (A-a) y la inferior con ruido (B-b). Notar que el oscilograma b se ve saturado de ruido porque los cantos y el ruido de fondo fueron normalizados a 0 dB para producir estos tratamientos.

El minuto de playback fue compuesto por cuatro bout (grupos de cantos), cada uno compuesto de cuatro cantos; así los cantos fueron reproducidos a una tasa de 16 cantos/min (*Figura 8*). Esta tasa de cantos cae dentro del rango natural registrado para esta especie (Ríos Chelén et. al., 2005). En estudios previos, este diseño ha sido útil para observar, registrar y analizar la respuesta territorial de los cardenalitos machos (Ríos-Chelén et. al., 2007). Para evitar un efecto de orden la mitad de los machos fueron expuestos primero al tratamiento de cantos con ruido y después al de cantos sin ruido, y al contrario la otra mitad fue expuesta primero a los cantos sin ruido y después a los cantos con ruido. Al mismo tiempo, para evitar un posible efecto de habituación, después de realizar el primer tratamiento (e.g. cantos con ruido) se esperó al menos 20 minutos antes de realizar el segundo tratamiento al mismo individuo (e.g. cantos sin ruido) (Ríos-Chelén y cols., 2018).

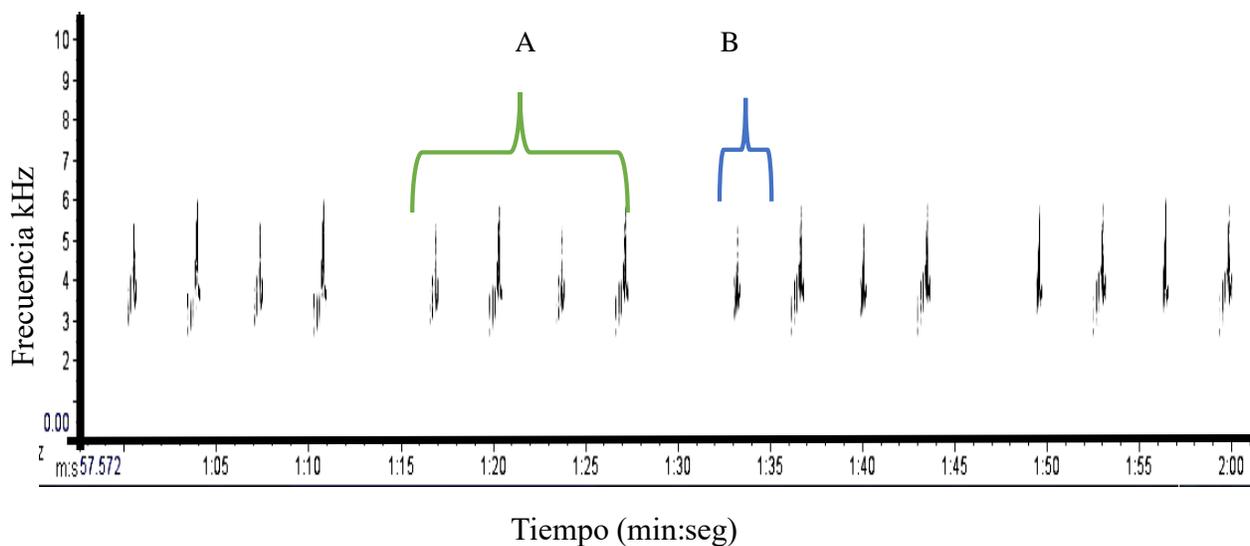


Figura 8. Espectrograma de cantos de cardenalitos (*Phyrocephalus rubinus*), el cual muestra el minuto de playback, compuesto por cuatro grupos de cantos, y cada uno a su vez por cuatro cantos. A) un grupo de canto y B) un canto.

Exponiendo a los cardenalitos a cantos sin ruido y después a cantos con ruido se pudo comparar intra-individualmente su respuesta territorial para determinar si modificaban su

respuesta en relación a la presencia/ausencia de ruido. Por otro lado, al exponer a la mitad de los individuos a cantos cortos y a la otra mitad a cantos largos se pudo comparar inter-individualmente la respuesta territorial a diferentes longitudes de canto. Al mismo tiempo, fue posible determinar una posible interacción entre longitud del canto y presencia/ausencia de ruido.

Obtención y procesamiento de cantos y ruido urbano

Para evitar pseudoreplicación (Kroodsma y cols. 1982), los cantos a los que estuvieron expuestos los 30 machos fueron obtenidos de cardenalitos machos grabados en el bosque de San Diego Metepec, Tlaxcala (19° 17.97N, 98° 14.60W) en el año 2001 y 2015. Grabados durante la época reproductiva.

A partir de los cantos grabados en Tlaxcala, se eligieron 30 cantos de 30 cardenalitos diferentes, 15 cantos con cuatro elementos introductorios y 15 cantos con ocho elementos introductorios. Después, fueron procesados en el software RAVEN Pro 1.5 (<https://ravensoundsoftware.com/software/raven-pro>), primero, los cantos seleccionados fueron separados de la grabación original, para después ser limpiados, seleccionando el ruido encontrado alrededor del canto y con la opción “out active selection” se eliminó cuidadosamente el ruido de fondo (Rivera-Cáceres y cols., 2011).

El ruido utilizado para los tratamientos fue grabado de autos transitando por dos avenidas en Puebla. Para grabarlo se utilizó un micrófono unidireccional Sennheise ME66 y una grabadora digital Marantz PMD221, el micrófono fue colocado apuntando hacia la avenida, a medio metro de donde pasaban los carros. Se grabaron en total ocho puntos de dos grandes avenidas durante 15 minutos. Obteniendo así ocho archivos. En el software RAVEN se eligieron, cortaron y guardaron en archivos individuales 30 segmentos de un minuto cada uno, estos segmentos fueron seleccionados para que el ruido fuera homogéneo y presentara características similares (amplitud y frecuencia).

Con el software RAVEN se copiaron y repitieron 16 veces los cantos. Cada bout tuvo una duración de 10.954s y los cuatro grupos tuvieron una duración total de 43.816s, con un espacio de 5.395s entre cada bout. Estos parámetros se mantuvieron constantes para todos los tratamientos (con y sin ruido, largos y cortos), en los que solo se manipuló sistemáticamente la presencia/ausencia de ruido y la longitud del canto (ocho elementos introductorios vs. cuatro elementos introductorios).

En el software Audacity 2.1.3 los archivos tanto de ruido como de cantos largos y cortos fueron normalizados a 0 dB, es decir, se igualó el volumen de las dos pistas (cantos y ruido). Este mismo programa fue utilizado para unir el ruido con los cantos para los tratamientos de cantos con ruido. Para lograr esto, primero fueron seleccionados los archivos, uno con un canto y otro de solo ruido, después con la función de “mezclar y generar una nueva pista” fueron unidos ambos archivos y se generó uno nuevo (canto largo o corto con ruido). Los cantos usados para los tratamientos sin ruido se dejaron limpios.

Las pruebas fueron calibradas (para que tuvieran la misma intensidad) a una amplitud de 65 a 70 decibeles (dB), con la ayuda de una bocina en donde se reprodujeron los cantos sin y con ruido, largos y cortos, y un sonómetro (SEW® 2310 SL, rango de 30-130 dB, medidas de frecuencia A, respuesta rápida, ANSI S1, clase II), el cual se colocó a una distancia de ocho metros. El estudio de Ríos-Chelén y Macías García (2007), muestra que en este rango de amplitud los cardenalitos presentan una respuesta territorial.

Experimento de playback

El experimento de playback se llevó a cabo de las 8 am (después del coro del amanecer) a 12 pm, periodo en el cual los cardenalitos son muy activos. Se utilizó un altavoz Mineroff SME-AFS (respuesta de frecuencia 100Hz – 12 kHz) conectado con 10 m de cable a un dispositivo celular SAMSUNG GALAXY S8. Con esta bocina se reprodujeron los tratamientos, simulando un macho intruso en el territorio del macho focal (receptor).

La bocina se colocó dentro del territorio del macho focal, situándolo en el mismo lugar cada vez que se reprodujo cada una de las pruebas. Dos investigadoras registraron los datos

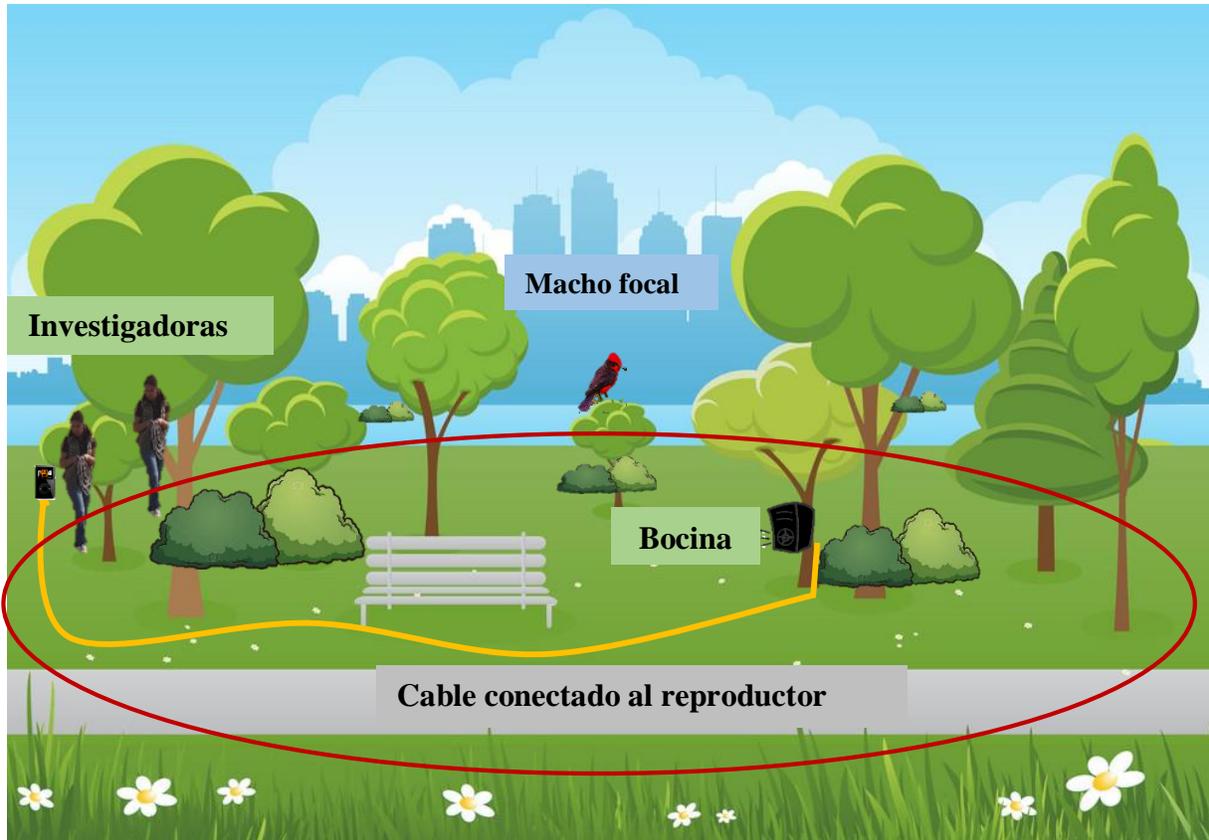


Figura 9. Imagen ilustrativa del experimento, mostrando la ubicación de la bocina dentro del territorio del cardenalito, y de los investigadores (a 10m de la bocina) que registraron 1) llamados y la latencia de estos y 2) vuelos de percha a percha y la latencia de vuelo. Ambos registraron aproximación máxima y ruido ambiental.

durante las pruebas, una anotaba los llamados y latencia al llamar, mientras que la otra anotaba los vuelos de percha a percha y latencia al volar.

También se registró la máxima aproximación y ruido ambiental (medido justo antes del experimento con un sonómetro, SEW® 2310 SL, rango de 30-130 dB, medidas de frecuencia A, respuesta rápida, ANSI S1, clase II), número de vecinos (representados en la *figura 5*) y observaciones adicionales como si estaba la hembra o si había crías (*figura 9*).

Mediciones de conducta

Con base en estos datos de Ríos-Chelén y Macías-García (2007), durante el experimento se registró la respuesta territorial de los machos, es decir, la frecuencia de llamados (número de

llamados durante cada minuto de la prueba) y frecuencia de vuelos de percha a percha (número de vuelos de percha a percha durante cada minuto de la prueba).

También se registró la latencia de llamados (el tiempo que tarda en llamar el individuo focal a partir de que se reproduce el playback) y latencia a volar (el tiempo en que tarda en volar el macho focal desde que se reproduce el playback). Así como la máxima aproximación (la distancia más cercana a la bocina a la que llega el individuo focal). Además, se midieron los niveles de ruido ambientales durante el pre-playback y el post-playback cada 10 segundos durante cada uno de estos minutos (6 medidas pre-playback y 6 en post-playback).

Análisis de datos

Analizamos la respuesta territorial de los cardenalitos, obteniendo la tasa de llamados y vuelos de percha en percha (número de llamados o vuelos/minuto, respectivamente), durante el minuto de pre-playback (tasa de llamados o vuelos/1 min) y durante los minutos de playback y post-playback (tasa de llamados o vuelos/2 min). A continuación, se restó la tasa de respuesta territorial (tasa llamados o vuelos) durante los minutos del playback + post-playback menos la tasa de respuesta territorial del minuto de pre-playback, obteniendo así una diferencia en la respuesta con respecto a la línea de base de cada individuo. Este procedimiento permite observar y evaluar la respuesta de los machos focales tomando en cuenta el estado basal, el cual está comprendido por el minuto de pre-playback.

Se realizó una t de student de medidas repetidas para comparar la respuesta territorial (llamados y vuelos de percha en percha) de los receptores ante los tratamientos de cantos cortos con y sin ruido y los cantos largos con-sin ruido (N=30), durante el pre-playback y el playback + pos-playback. Con la diferencia en la tasa de llamados y vuelos de percha en percha como variable dependiente y como variables independientes los cantos cortos con y sin ruido y largos con y sin ruido.

Se utilizó un Modelo Lineal General (GLM) de medidas repetidas, ya que cada cardenalito (N= 30) fue expuesto a cantos con ruido y después a cantos sin ruido, y así evaluar sí la presencia de ruido afecta la respuesta territorial a nivel individual. La longitud del canto

(cortos de 4 EI y largos de 8 EI) fue un factor entre sujetos, para determinar si había un efecto de la longitud del canto entre los dos grupos de machos (n= 15).

Las variables independientes fueron: longitud del canto y presencia de ruido, y como variables dependientes: las diferencias en la tasa de llamados y vuelos de percha en percha (respuesta territorial), los promedios de latencia al llamar y los promedios de latencia de vuelo de percha en percha (segundos), y la máxima aproximación de los individuos focales a la bocina (metros). Como covariables están: el ruido ambiental presente justo antes del experimento y el número de vecinos.

Se realizó una regresión lineal para analizar el nivel de correlación entre la variable dependiente: diferencia de llamados (tratamiento sin ruido y con ruido), y la variable independiente: ruido ambiental antes del playback. Los análisis fueron realizados en el programa Sigma Plot 12.0 y SPSS statistics 25.

RESULTADOS

Respuesta general al playback

Se registró la conducta territorial de 30 cardenalitos machos y encontramos una diferencia significativa entre el pre-playback y el playback + pos-playback, tanto para llamados (t de medidas repetidas $t = -8.75$, $df = 29$, $P = 0.001$) como para vuelos de percha en percha ($t = -6.12$, $df = 29$, $P = 0.001$). Los cardenalitos realizaron vuelos de percha a percha casi inmediatamente después de iniciar el playback, se posaban en los árboles o arbustos que se encontraban a menos de 10 metros de la bocina o incluso se posaban en el árbol en donde estaba colocada la bocina. Generalmente, ya que estaban posados, comenzaban a emitir llamados y continuaban con los vuelos de percha a percha. Después del minuto de playback los individuos focales continuaban desplegando llamados y vuelos de percha a percha y en algunas ocasiones regresaban al árbol en donde se encontraba la bocina.

Durante el playback, en repetidas ocasiones, las hembras de cardenalitos se acercaban al macho e incluso al área en donde se encontraba la bocina, emitiendo en muchas de las veces llamados. Aunque no se localizaron los nidos, se pudieron observar algunas crías.

Respuesta territorial ante presencia del ruido y diferentes longitudes del canto

Respuesta de llamados y vuelos

Comparación dentro del mismo individuo (presencia de ruido). El análisis no mostró diferencias significativas ante los tratamientos sin y con ruido urbano, en la respuesta de llamados ($F_1 = 0.062$, $P = 0.806$; *Figura 10-A*) y vuelos de percha en percha ($F_1 = 3.634$, $P = 0.067$; *Figura 10-B*).

Comparación entre individuos (longitud del canto). No se encontraron diferencias significativas en la respuesta de llamados ($F_1 = 1.048$, $P = 0.315$; *Figura 10-A*) y vuelos de percha en percha ($F_1 = 0.039$, $P = 0.845$; *Figura 10-B*) cuando los cardenalitos machos estuvieron expuestos a cantos cortos sin-con ruido y largos sin-con ruido. De igual forma, la prueba no mostró diferencias significativas en la interacción de la presencia de ruido y la longitud del

canto, tanto para llamados ($F_1= 1.830$, $P= 0.187$; *Figura 10-A*) como para vuelos de percha en percha ($F_1= 3.134$, $P= 0.088$; *Figura 10-B*).

Respuesta de llamados

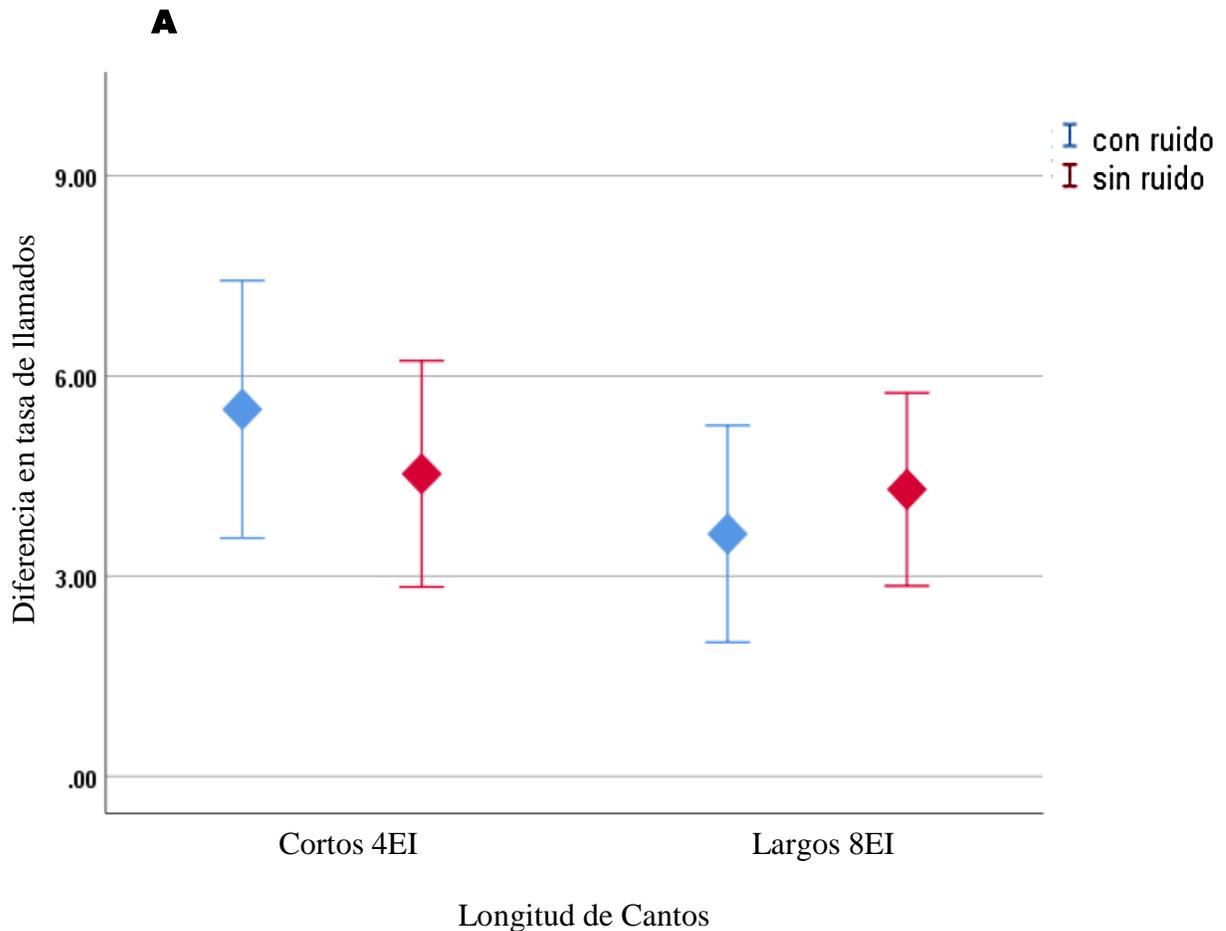


Figura 10-A. Modelo Lineal General de medidas repetidas con la longitud de canto como covariable entre sujetos para evaluar si el ruido urbano influye en la respuesta de llamados de los cardenalitos machos ($N= 30$, intra sujeto) y al mismo tiempo si existía una interacción entre la presencia/ausencia de ruido y la longitud del canto ($n= 15$, inter-sujeto). Como variable dependiente la respuesta en llamados (eje Y), como independiente la longitud del canto (eje X) y la presencia de ruido. Los puntos azules simbolizan la respuesta de los machos que estuvieron expuestos a cantos con ruido, mientras que los puntos rojos representan a los machos que estuvieron expuestos a cantos sin ruido. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Respuesta de vuelos

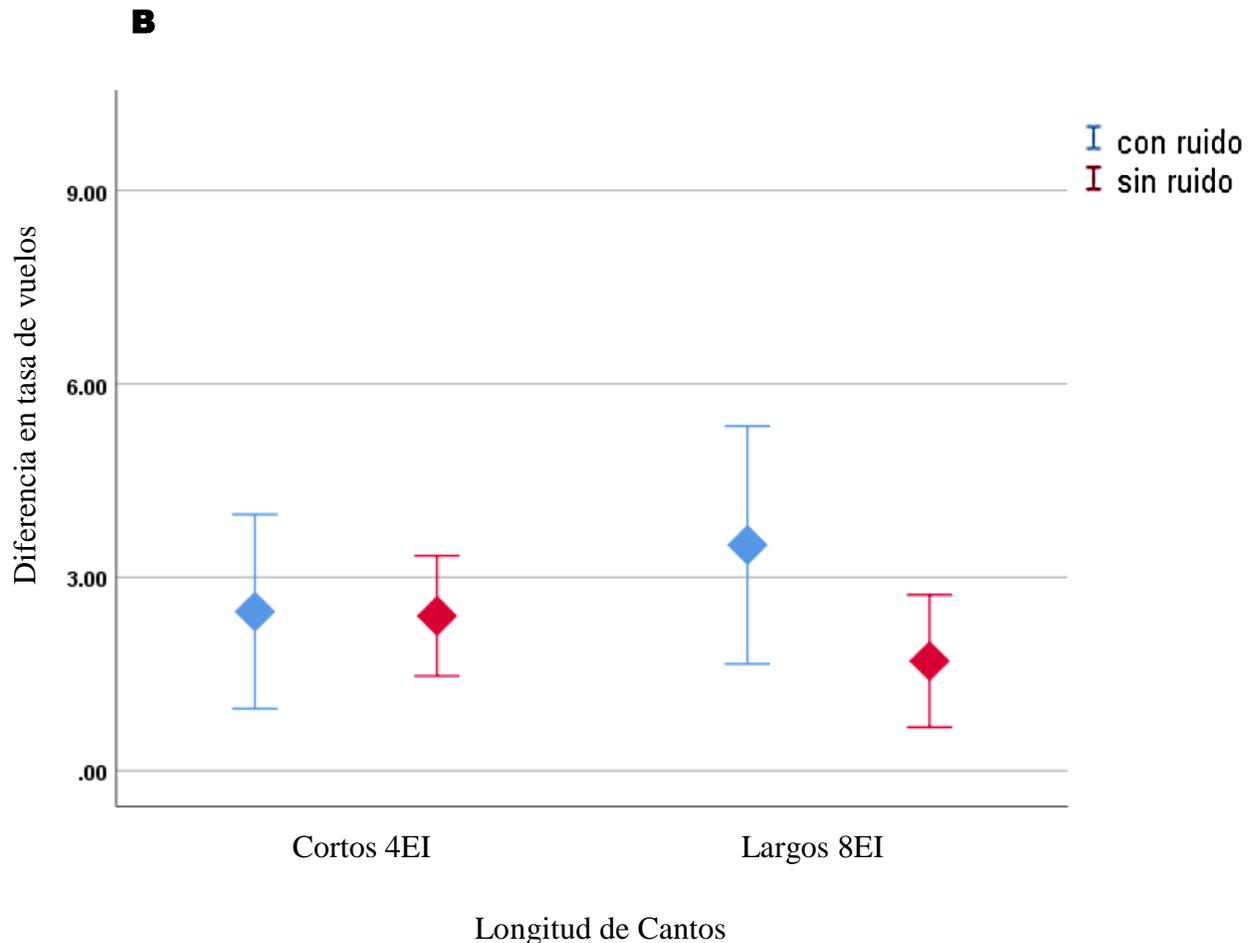


Figura 10-B. Modelo Lineal General de medidas repetidas con la longitud de canto como covariable entre-sujetos para evaluar si el ruido urbano influye en la respuesta en vuelos de percha en percha de los cardenalitos machos (N= 30, intra-sujeto) y al mismo tiempo si existía una interacción entre la presencia/ausencia de ruido y la longitud del canto (n= 15, inter-sujeto). Como variable dependiente la respuesta en vuelos de percha en percha (eje Y), como independiente la longitud del canto (eje X) y la presencia de ruido. Los puntos azules simbolizan la respuesta de los machos que estuvieron expuestos a cantos con ruido, mientras que los puntos rojos representan a los machos que estuvieron expuestos a cantos sin ruido. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Latencia a llamar y a volar

Comparación dentro del mismo individuo (presencia de ruido). No se encontraron diferencias significativas ante los tratamientos sin y con ruido, en el promedio de latencia al

llamar ($F_1= 2.248$, $P= 0.145$; *Figura 11-A*) y en el promedio en la latencia a volar ($F_1= 0.102$, $P= 0.752$; *Figura 11-B*).

Comparación entre individuos (longitud del canto). Tampoco se vieron diferencias significativas en el promedio de latencia a llamar ($F_1= 0.235$, $P= 0.632$; *Figura 11-A*) y en el promedio de latencia a volar ($F_1= 0.091$, $P= 0.766$; *Figura 11-B*) cuando estuvieron expuestos los individuos focales a cantos cortos sin-con ruido y largos sin-con ruido. Igualmente, la prueba no mostró diferencias significativas en la interacción de la presencia de ruido y la longitud del canto, tanto para el promedio de la latencia al llamar ($F_1= 1.011$, $P= 0.323$; *Figura 11-A*) como para el promedio de latencia a volar ($F_1= 0.001$, $P= 0.972$; *Figura 11-B*).

Latencia a llamar

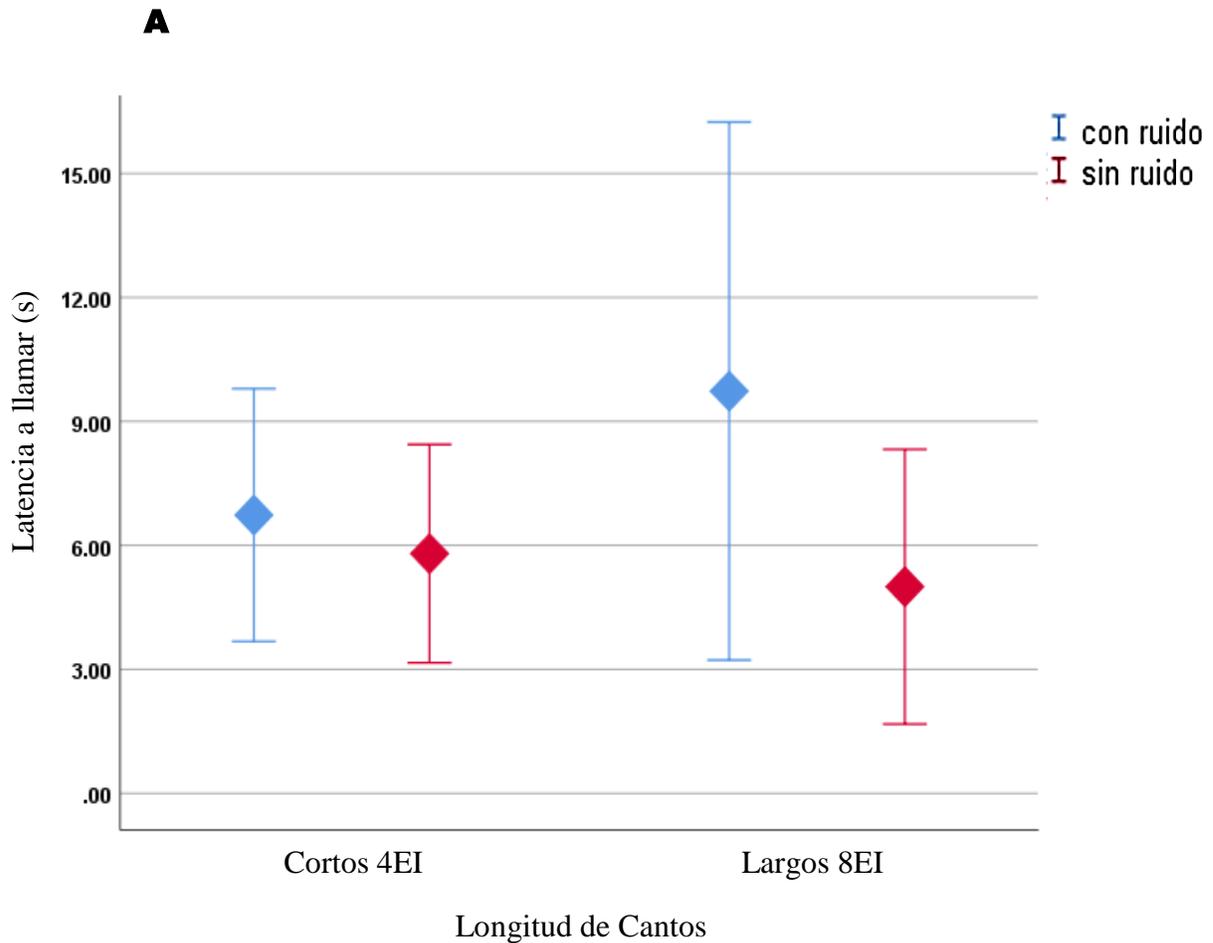


Figura 11-A. Modelo Lineal General de medidas repetidas con la longitud de canto como covariable entre-sujetos para evaluar si el ruido urbano influye en la respuesta de la latencia de los cardenalitos machos (N= 30, intra-sujeto) y al mismo tiempo si existía una interacción entre la presencia/ausencia de ruido y la longitud del canto (n= 15, inter-sujeto). Como variable dependiente la latencia al llamar (segundos) (eje Y), como independiente la longitud del canto (eje X) y la presencia de ruido. Los puntos azules simbolizan la respuesta de los machos que estuvieron expuestos a cantos con ruido, mientras que los puntos rojos representan a los machos que estuvieron expuestos a cantos sin ruido. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Latencia a volar

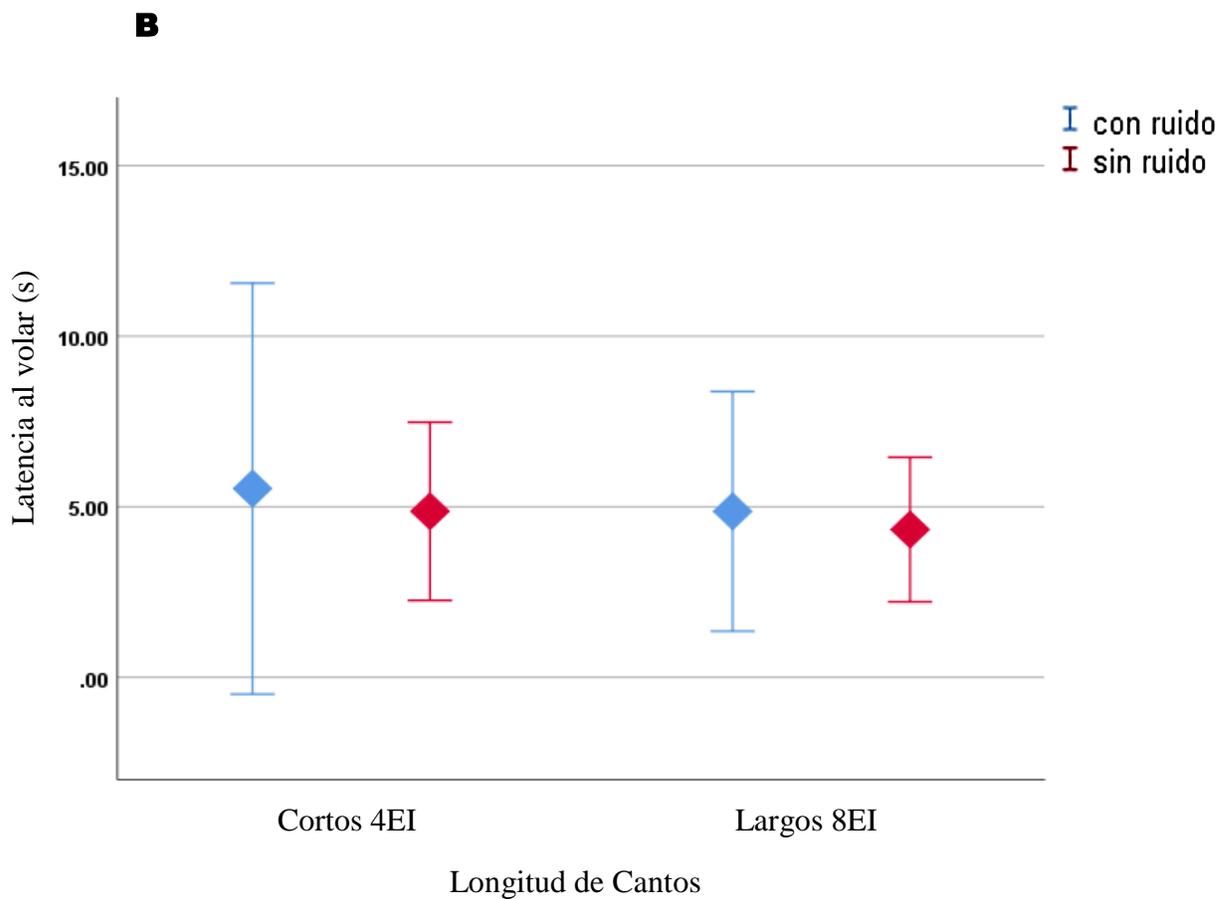


Figura 11-B. Modelo Lineal General de medidas repetidas con la longitud de canto como covariable entre-sujetos para evaluar si el ruido urbano influye en la respuesta de la latencia de los cardenalitos machos (N= 30, intra-sujeto) y al mismo tiempo si existía una interacción entre la presencia/ausencia de ruido y la longitud del canto (n= 15, inter-sujeto). Como variable dependiente la latencia en vuelos de percha en percha (segundos) (eje Y), como independiente la longitud del canto (eje X) y la presencia de ruido. Los puntos azules simbolizan la respuesta de los machos que estuvieron expuestos a cantos con ruido, mientras que los puntos rojos representan a los machos que estuvieron expuestos a cantos sin ruido. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Máxima aproximación

Comparación dentro del mismo individuo (presencia de ruido). No se vieron diferencias significativas ante los tratamientos sin y con ruido para la máxima aproximación a la bocina ($F_1= 0.618$, $P= 0.438$; *Figura 12*).

Comparación entre individuos (longitud del canto). La prueba no detectó diferencias significativas en la máxima aproximación a la bocina, obtenida para las pruebas de cantos cortos con-sin ruido y cantos largos con-sin ruido ($F_1= 0.034$, $P= 0.854$; *Figura 12*). En el análisis de la interacción de la presencia de ruido y la longitud del canto, tampoco se encontraron diferencias significativas para la máxima aproximación ($F_1= 0.109$, $P= 0.744$; *Figura 12*)

Máxima aproximación

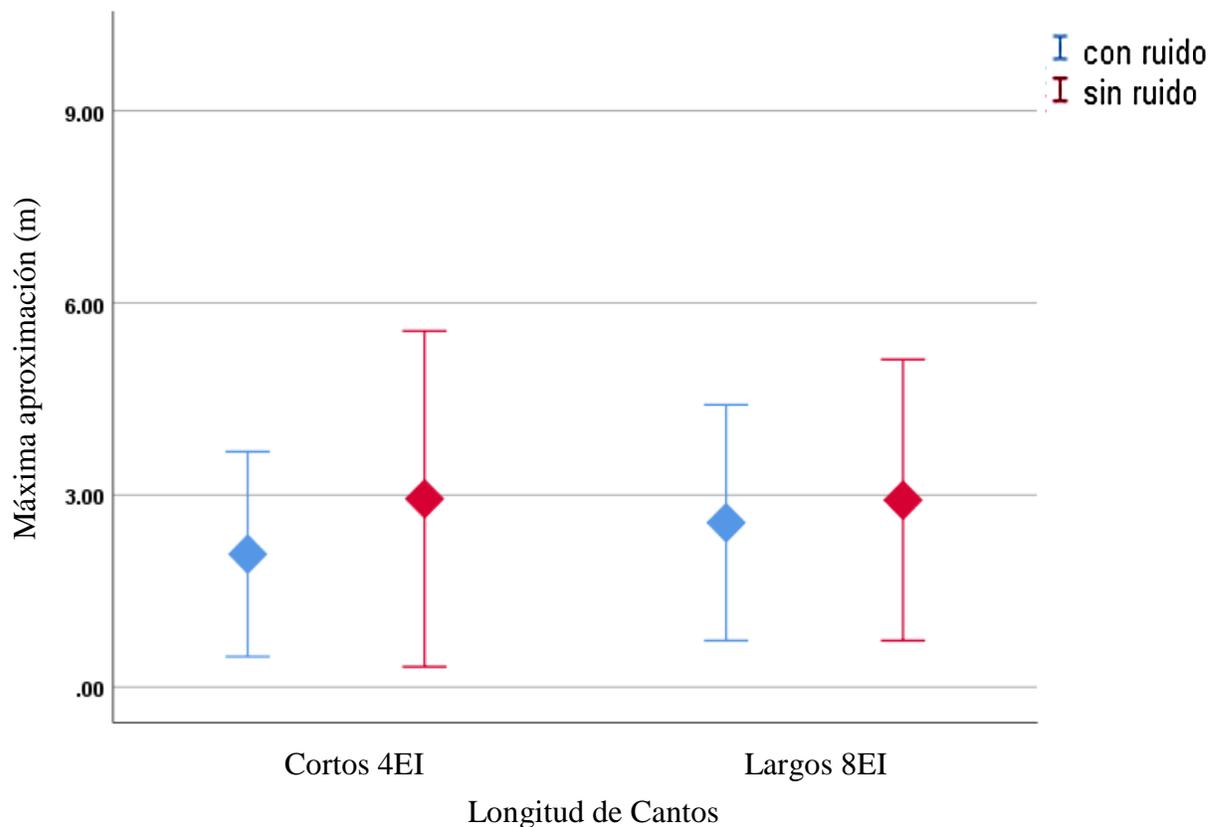


Figura 11-B. Modelo Lineal General de medidas repetidas con la longitud de canto como covariable entre-sujetos para evaluar si el ruido urbano influye en la respuesta de máxima aproximación a la bocina de los cardenalitos machos (N= 30, intra-sujeto) y al mismo tiempo si existía una interacción entre la presencia/ausencia de ruido y la longitud del canto (n= 15, inter-sujeto). Como variable dependiente la máxima aproximación (metros) (eje Y), como independiente la longitud del canto (eje X) y la presencia de ruido. Los puntos azules simbolizan la respuesta de los machos que estuvieron expuestos a cantos con ruido, mientras que los puntos rojos representan a los machos que estuvieron expuestos a cantos sin ruido. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Ruido ambiental.

Se pudo ver una relación positiva entre la respuesta de llamados y el nivel de ruido ambiental, tanto para cuando los cardenalitos escucharon el tratamiento sin ruido ($F_1= 0.36$, $P= 0.027$; *Figura 17-A*), como con ruido ($F_1= 0.493$, $P= 0.011$; *Figura 17-B*). No encontramos diferencias significativas entre el nivel de ruido ambiental antes del experimento y la respuesta en vuelos (tratamiento sin ruido $F_1= 0.03$, $P= 0.760$; con ruido, $F_1=-0.13$, $P=0.504$).

Un análisis de regresión lineal nos muestra el nivel de correlación entre la respuesta de llamados y el nivel de ruido ambiental, el análisis nos indica que el 24.9 % de la variación en la diferencia de llamados para los tratamientos sin ruido está explicado por el ruido ambiental ($R^2= .249$, $F_1= 9.29$, $P= 0.005$; *Figura 13-A*). Mientras que el 29 % de la variación en la diferencia de llamados para los tratamientos con ruido está explicado por el ruido ambiental ($R^2= .290$, $F_1= 11.44$, $P= .002$; *Figura 13-B*).

Ruido ambiental (tratamiento sin ruido)

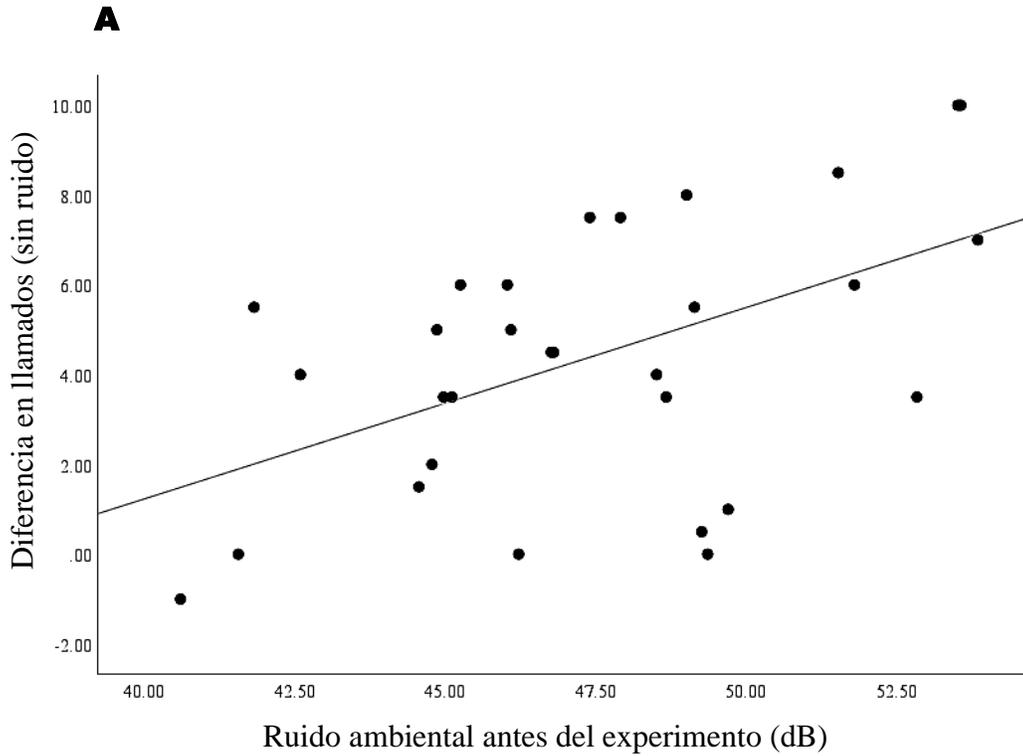


Figura 13-A. Modelo lineal general de medidas repetidas, como covariable el ruido ambiental antes del experimento. En el eje Y se muestra la diferencia en llamados (sin ruido) y en el eje X se muestra el ruido ambiental antes del experimento (dB). Como variable dependiente la diferencia en llamados (en el tratamiento sin ruido) y variable independiente el ruido ambiental. La gráfica muestra una relación significativa entre la diferencia de llamados de 30 cardenalitos ante cantos sin ruido y el ruido ambiental registrado en el territorio de cada uno.

Ruido ambiental (tratamiento sin ruido)

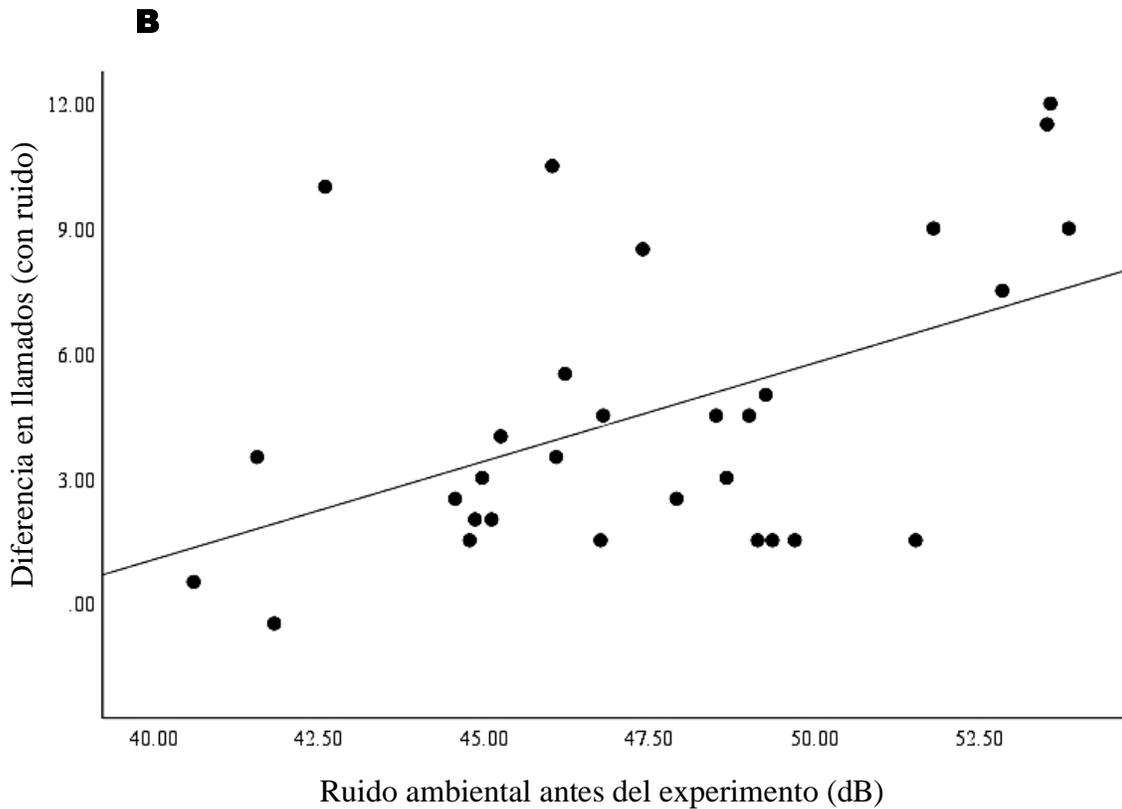


Figura 14-B. Modelo lineal general de medidas repetidas, como covariable el ruido ambiental antes del experimento. En el eje Y se muestra la diferencia en llamados (sin ruido) y en el eje X se muestra el ruido ambiental antes del experimento (dB). Como variable dependiente la diferencia en llamados (en el tratamiento con ruido) y variable independiente el ruido ambiental. La gráfica muestra una relación significativa entre la diferencia de llamados de 30 cardenalitos ante cantos con ruido y el ruido ambiental registrado en el territorio de cada uno.

Número de vecinos

Para el análisis con el número de vecinos como covariable no se ve una relación significativa entre la diferencia de llamados y los vecinos ($F_1 = 0.124$, $P = 0.727$), para los vuelos de percha en percha y el número de vecinos no se encontraron diferencias significativas ($F_1 = 3.183$, $P = 0.086$).

DISCUSIÓN

El ruido antrópico puede llegar a enmascarar total o parcialmente las señales acústicas, sobre todo cuando las frecuencias de ambos se superponen, interfiriendo en la comunicación acústica de las aves. Influyendo en el comportamiento y vocalizaciones tanto del emisor como del receptor, siendo este último el menos estudiado. Investigaciones previas sugieren que la detección y discriminación del receptor pueden verse influenciadas por el ruido antrópico (Lohr cols., 2003; Blickley y Patricelli, 2012). En el presente estudio comparamos la respuesta de los cardenalitos ante cantos sin y con ruido, no obstante, los resultados no muestran diferencias significativas entre las pruebas con ruido y sin ruido en la respuesta territorial (llamados y vuelos de percha en percha) de los cardenalitos machos.

Evaluamos si había una interacción entre el ruido urbano (presencia/ausencia) y longitud de canto. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas para los cantos largos y los cantos cortos con/sin ruido. Aunque no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (cantos largos con/sin ruido y cantos cortos con/sin ruido), los cardenalitos machos estaban percibiendo los cantos como un intruso en su territorio y la información de estos, pues respondieron ante los playbacks, pudimos ver diferencias significativas en los llamados y vuelos de percha a percha (respuesta territorial descrita en Ríos-Chelén y Macías García, 2007) comparando el pre-playback y el playback + pos-playback.

Al mismo tiempo podemos relacionar la latencia de los machos al responder (segundos), así como la máxima aproximación (metros) al altavoz como medidas para registrar la conducta territorial de los cardenalitos. Aunque la latencia no difirió ante cantos cortos y largos con ruido/sin ruido, los individuos respondían prácticamente inmediatamente cuando comenzaba el playback y también se acercaban e incluso se perchaban en el árbol en donde se encontraba el altavoz. Nosotros interpretamos que si un macho responde con llamados y/o vuelos de percha en percha de forma inmediata cuando comienza la reproducción del canto podría ser indicativo de que el macho dueño del territorio está percibiendo a un intruso. De igual manera, si el macho dueño del territorio se acerca a la bocina, probablemente busque atacar al intruso que está

vocalizando, para alejarlo y defender su territorio, o bien poder obtener más información de este y evaluar mejor la situación al estar más cerca del intruso (ejemplo, Grabarczyk y Gill, 2019).

Comparación dentro del mismo individuo (entre ruido y no ruido)

(Respuesta de llamados y vuelos, Latencia a llamar y a volar, Máxima aproximación)

Estudios muestran como el ruido puede llegar a influir en la percepción acústica de algunas aves, especialmente reduciendo la detección y discriminación de las señales acústicas, sobre todo de las vocalizaciones de baja frecuencia (Lohr cols., 2003; Phol cols, 2009; Blickley y Patricelli, 2012a, Phol cols, 2012; Phol cols, 2013). Sin embargo, no encontramos diferencias significativas en los llamados y vuelos de percha en percha de los machos receptores durante los cantos con ruido y cantos sin ruido, es decir, nuestro estudio no evidencio que el ruido urbano reproducido perturbe la comunicación acústica (respuesta territorial) de los machos.

Grabarzy y Gill (2019) reporta un número mayor de ataques de los machos chochín criollo (*Troglodytes aedon*) hacia el altavoz cuando escuchaban los tratamientos con ruido que sin ruido; los autores creen que probablemente los machos eran menos capaces de evaluar a los intrusos por el ruido, entonces requerían acercarse al altavoz para así obtener información. Sin embargo, reportan que los tratamientos (con ruido y sin ruido) no tuvieron ningún efecto sobre la detección de los machos chochín criollo (*Troglodytes aedon*). En contraste, en el presente estudio esperábamos que, ya que los cantos con ruido estarían enmascarados con las frecuencias del propio ruido, serían menos percibidos, entonces, los cardenalitos no se acercarían o no responderían tan rápido como con los cantos sin ruido, pero no encontramos diferencias significativas ante los tratamientos con y sin ruido.

Sin embargo, notamos que prácticamente todos los individuos respondían casi inmediatamente (latencia al llamar y volar) a la reproducción del altavoz y se posaban en las ramas en donde estaba colocada la bocina (máxima aproximación). Es probable que los machos al estar limitados por la nula información visual, es decir, no podían ver al intruso que emitía los cantos, se acercaran al altavoz para poder obtener más información de la señal acústica, sin que influyera el ruido de los tratamientos.

Nuestros resultados sugieren que el ruido no enmascara los cantos, o no lo suficiente afectar la percepción de los cardenalitos, pues estos respondieron a los cantos, es decir las frecuencias del ruido antrópico reproducido en el playback (y tal vez el ruido antrópico producido dentro y fuera del parque), pueden estar enmascarando algunos elementos introductorios o parte de estos (Blickley y Patricelli, 2012a). Sin embargo, el canto del cardenalito también está compuesto por dos elementos de frecuencia media, uno de frecuencia alta y un elemento terminal con duración prolongada (Ríos-Chelén y cols., 2018b), probablemente estos elementos si estén siendo percibidos por el receptor y así este puede tener información suficiente del individuo que los está emitiendo.

Las frecuencias del ruido urbano no perturban la respuesta territorial de los cardenalitos machos, porque posiblemente los elementos del canto del cardenalito con frecuencias altas (agudas) (mínimas 3 - 3.8 kHz y 5.5 - 6.4 kHz las máximas, Ríos-Chelén y cols, 2005) no sean enmascarados por las frecuencias del ruido antrópico, que son típicamente bajas (graves, su energía se concentra por debajo de 3 kHz), lo cual permite que el canto del emisor llegue sin dificultad al receptor incluso en presencia de ruido urbano. Por otro lado, se cree que el ruido superior a 93 dB puede llegar a modificar temporalmente el umbral auditivo de las aves y el ruido superior a 110 dB puede causar daños permanentes (Zollinger y cols., 2017), en el presente estudio no se registraron ruidos superiores a los 60 dB en los territorios de los cardenalitos, lo que sugiere que el umbral de audición de los cardenalitos machos no está afectado por el ruido que los rodea, ni fue afectado por el ruido que colocamos en los tratamientos.

Aunque es probable que el ruido no esté afectando la audición de los cardenalitos, podría influir en la respuesta a intrusos. Nuestros resultados muestran una relación significativa entre la respuesta de llamados y el nivel de ruido que se registró en el hábitat de cada individuo, a mayor nivel de ruido ambiental más llaman los cardenalitos. Los individuos de territorios más ruidosos tal vez están más estresados por el ruido de su hábitat (> 50 dB) al que han estado expuestos (Kight y Swaddle, 2011, Blickley y cols., 2012b, Blickley y cols., 2012c), tal vez este estrés provoca una respuesta mayor de los individuos que ocupan territorios más ruidosos en comparación con los que ocupan territorios con menos ruido (Templeton y cols., 2016).

Por ejemplo, un estudio de MacDougall-Shackleton y colaboradores (2009), muestra que los machos de gorrión cantor (*Melospiza melodia*) que vocalizan cantos con menos sílabas tendían a presentar mayores respuestas al estrés y al mismo tiempo los individuos con mayores respuestas al estrés tendían a reproducirse menos el siguiente año. Entonces, posiblemente los machos no estén emitiendo cantos largos en condiciones ruidosas para hacerlos más audibles (Ríos-Chelén y cols., 2013), sino que podrían existir una correlación entre la longitud del canto y el estrés; en donde los cardenalitos machos que emiten cantos largos en condiciones ruidosas sean menos susceptibles al estrés y de manera contraria los machos que emiten cantos cortos están seleccionando territorios menos ruidosos evitando los efectos del estrés y asegurando su reproducción.

Por otro lado, estudios como el de Stoddard y cols (1991) reportan que los machos de gorrión cantor (*Melospiza melodia*) responden más agresivamente (aumentando el número de vuelos) a los intrusos (reproducidos en el altavoz) cerca del centro de su territorio en comparación con los intrusos ubicados en las orillas de este. Es importante tomar en cuenta la posición del altavoz, pues en el presente estudio se colocaba dentro del territorio del macho focal, sin importar si era justo en el centro del territorio o en las orillas de este. Es posible que la respuesta de los machos focales se viera influenciada por la ubicación de la bocina en sus territorios. Sería interesante poder ver la respuesta territorial cada uno de los cardenalitos ante cantos de intrusos en diferentes áreas de sus territorios y ver si la respuesta difiere cuando el altavoz este en el centro del territorio de cuando se encuentra en la orilla.

No obstante, el que no se hayan encontrado diferencias significativas en la respuesta territorial de los machos ante cantos sin ruido y cantos con ruido, no significa que no se vean afectados por el ruido antrópico de las actividades humanas que se realizan dentro y fuera del ecoparque. Pues los individuos pueden no tener áreas alternativas en donde establecerse o probablemente presenten otras dificultades en la supervivencia, éxito de apareamiento, etc. (Francis y Barber, 2013). Tal vez, si se realizara una comparación de una población de cardenalitos encontrados en áreas menos ruidosas vs un área más ruidosa, estos muestren una diferencia significativa en la respuesta territorial ante los tratamientos con ruido que ante los tratamientos sin ruido.

El estudio de Lenis y Guillermo-Ferreira (2020) muestra los efectos del ruido en el comportamiento territorial de un ave suboscina (*Pitangus sulphuratus*), comparando individuos de áreas urbanas y rurales, donde concluyen que la contaminación acústica puede interferir con la comunicación intraespecífica, afectando el comportamiento territorial (tiempo de respuesta al estímulo, vuelos y vocalizaciones). Sin embargo, el estudio de Lenis y Guillermo-Ferreira solo evaluaron la latencia de respuesta de los individuos, quizás analizando más aspectos de su conducta territorial (como en nuestro trabajo, vuelos, llamados, máxima aproximación) el resultado podría cambiar, pues el análisis será más completo. Además, no discute porque seis de sus individuos no respondieron a los estímulos y dos más no podían ubicarlos. A pesar que la intensidad (dB) de sus playbacks era mayor en comparación a la intensidad (65-70 dB) de nuestros tratamientos. Posiblemente el comprar un área urbana y un área no urbana pueda darnos resultados contrastantes en la respuesta territorial de los cardenalitos, siempre y cuando se registre y analicen la conducta territorial de los individuos lo más completa que sea posible.

Otra posibilidad es que los machos focales se encuentren habituados a los niveles de ruido antrópico que los rodea, por lo que no presentan diferencias significativas ante los tratamientos con ruido y sin ruido. Como lo reportado por Lackey y cols. (2012), en un experimento con el chipe negriamarillo (*Setophaga chrysoparia*) que expusieron al ruido de una construcción, sus resultados muestran que el parecer estas aves no se ven afectas por el ruido, sugieren así, que estas aves se han habituado al ruido de la construcción. Si bien los cardenalitos pueden habitar áreas perturbadas, los niveles de ruido son diferentes en cada una de estas áreas, por lo que la respuesta territorial que se registre será diferente dependiendo de los beneficios o los costos que el ruido antrópico les este generado.

Comparación entre individuos (cantos largos con-sin ruido y cortos con-sin ruido)

(Respuesta de llamados y vuelos, Latencia a llamar y a volar, Máxima aproximación)

En el presente estudio los cardenalitos respondieron (llamados y vuelos de percha en percha) a los tratamientos con cuatro elementos introductorios con y sin ruido urbano, así como a los de ocho elementos introductorios con y sin ruido urbano, lo que nos sugiere que la longitud del

canto en interacción con el ruido urbano no este influyendo en la respuesta de los cardenalitos, pues no encontramos diferencias significativas entre los tratamientos.

Ríos-Chelén y colaboradores en el 2013, muestran que los cardenalitos machos producen cantos más largos que cortos en ambientes ruidosos, e hipotetizan que probablemente esto les permita hacerlos más audibles y así transmitir la información al receptor adecuado en condiciones ruidosas. Sin embargo, en el presente estudio no se encontró evidencia que apoye la idea de que el ruido enmascare los cantos y que los cantos largos sean más fácilmente audibles en condiciones ruidosas. Sin importar la longitud del canto (cortos cuatro EI o largos ocho EI), el receptor es capaz de percibir la señal, pues este responde de forma similar a cantos cortos y largos con/sin ruido. La longitud del canto asociada a ruido (Ríos-Chelén y cols. 2013) podría estar condicionada por otros factores aparte del ruido o en interacción con este, como la luz artificial nocturna, el número de vecinos, las interacciones con otras especies de aves, las frecuencias de las vocalizaciones de otros individuos, la vegetación o el cambio de esta por la perturbación (Slabbekoorn, 2004; Brumm, 2004).

Phol y colaboradores (2013) muestran que mientras la longitud de los elementos del canto del carbonero (*Parus major*) sea larga, la intensidad de los elementos no tiene que ser alta, para poder ser detectados por el receptor en presencia de ruido. En el presente trabajo se normalizaron los tratamientos para que tuvieran la misma intensidad (65-70 dB), pues en este rango de amplitud los cardenalitos presentan una respuesta territorial (Ríos-Chelén y Macías García, 2007), por lo que probablemente no este influyendo la amplitud de los cantos cortos y largos en la respuesta territorial de los cardenalitos. Sin embargo, los elementos sobre todo de los dos de frecuencia media, el de alta frecuencia y el de frecuencia prolongada, podrían tener la intensidad necesaria para ser percibidos.

Finalmente, ya que se piensa que el canto pudo haber evolucionado por medio de la selección sexual (selección intra-sexual e inter-sexual) (Gil y Gahr, 2002), quizás la longitud del canto en condiciones ruidosas tiene que ver con la percepción de hembra y no con la del macho. Posiblemente la hembra a través de las generaciones ha ido seleccionando la longitud del canto de los machos (ya sean, cantos más largos o más cortos), influenciada a su vez por los cambios en su hábitat, en este caso el ruido, provocando así que algunas poblaciones presenten

diferentes longitudes de canto en presencia de ruido. Al seleccionar las hembras los cantos con mayor número de elementos de los cardenalitos machos en condiciones ruidosas, es muy probable que las crías de estos individuos presenten cantos con las mismas características y así tengan éxito reproductivo en habitats ruidosos.

CONCLUSIÓN

No se encontró evidencia que el ruido perturbe la percepción de los cantos y que los cantos largos sean más perceptibles que los cortos en condiciones ruidosas para los cardenalitos macho. Sin embargo, se pudo ver una relación significativa entre la diferencia de llamados y el nivel de ruido ambiental de los territorios de los machos focales. Por lo que sugerimos que tal vez, los individuos que habitan territorios con mayor ruido, están estresados por lo que responden más intensamente.

Ya que cada vez más van en aumento las actividades humanas y consigo el ruido antrópico, es relevante que se realicen investigaciones enfocadas en las aves y cómo influye el ruido en su comunicación acústica, prestando más atención al receptor, para así tener un panorama completo de la comunicación acústica en las aves. Es posible que el ruido antrópico influya, ya sea positiva o negativamente, en aves suboscinas, directa o indirectamente, por lo que es importante hacer un trabajo integrativo en donde se tomen factores que, individualmente o en interacción con el ruido puedan explicar una conducta o en el caso de esta investigación el número de elementos introductorios del canto del macho.

Dando un paso más, es importante evaluar cómo afecta el ruido y la influencia de otros factores (como luz, modificación del hábitat, especies invasoras, etc.) en las interacciones ecológicas, como en polinización, dispersión de semillas, control biológico de plagas, entre otras (Whelan y cols, 2015). Así se podrá comprender y preservar a las aves y al mismo tiempo mantener los beneficios directos e indirectos que recibe el humano de ellas.

PERSPECTIVAS

1. Evaluar si los cardenalitos en territorios ruidosos están estresados.

En un experimento de campo se podrían comparar los niveles de corticosterona de los machos que se encuentran en territorios más ruidosos en comparación con los individuos que se encuentran en territorios menos ruidosos.

2. Determinar si los individuos sometidos a diferentes niveles de estrés emiten cantos con diferente número de elementos.

En un experimento de campo podrían exponerse a los cardenalitos macho a cantos de otros machos de su misma especie con ruido antrópico de diferentes frecuencias y amplitudes, para después grabar sus cantos y comparar el número de elementos introductorios para cada tratamiento.

3. Evaluar si existe una relación entre los niveles de corticosterona de los cardenalitos machos y el ruido antrópico y a su vez en la respuesta territorial de los individuos.

En un experimento en campo o bien de laboratorio, se podría exponer a los cardenalitos macho a ruido intermitente y ruido crónico con diferentes amplitudes. Y así comparar los llamados y vuelos de percha en percha, incluyendo la latencia a llamar y volar, así como la máxima aproximación; también analizar y comparar los niveles de corticosterona en sangre.

4. Determinar si los machos emiten cantos largos como información para la hembra en condiciones ruidosas.

En un experimento llevado a cabo en campo, se podría exponer a los cardenalitos hembra ante cantos cortos con-sin ruido y largos con-sin ruido (Si el experimento es llevado a cabo en campo, se recomienda quitar al macho para evitar alguna confusión con la respuesta del macho). Comparando su respuesta de llamados y vuelos de percha en percha, latencia al llamar y volar, y su máxima aproximación entre los tratamientos.

5. Determinar si el ruido urbano afecta la reproducción de los cardenalitos.

En un experimento de campo o bien de laboratorio, podrían comenzar monitoreando a los cardenalitos un poco antes de la época reproductiva, y al mismo tiempo, registrar el nivel de ruido de sus territorios. Después ver cuántos de estos individuos forman pareja, y por ultimo comparar cuántas crías tienen y si el número de crías se relaciona con el nivel de ruido de los territorios.

REFERENCIAS

- Barber, J. R., Crooks, K. R. and Fristrup, K. M. (2010). The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 180 – 189
- Bermúdez-Cuamatzin E., Rios-Chelen A. A., Gil D. and Garcia C. M. (2010). Experimental evidence for real-time song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird. *Biol. Lett.* 7, 36–38. doi:10.1098/rsbl.2010.0437
- Botero-Orrego J. and Chaparro-Herrera. (2016). Guía sonora de las aves del refugio de vida silvestre, Alto de San Miguel. Secretaría del medio ambiente, Sociedad Antioqueña de Ornitología – SAO. Medellin, Colombia. Consultado el 7 de abril de 2019.
- Borrero H. J. I. (1972). Historia natural del Titiribí, *Pyrocephalus rubinus* (Aves, Tyrannidae), en Colombia, con notas sobre su distribución. *Mitt. Inst. Colombo-alemán Invest. Cient.* Santa Marta, Colombia, 6: 113 - 133.
- Bottalico, P., Spoglianti, D., Bertetti, C. A. and Falossi, M. (2015). Effect of Noise Generated by Construction Sites on Birds. *Conference Inter-noise*. 1 - 7.
- Blickley J. L., and Patricelli G. L. (2012). Potential acoustic masking of Greater Sage-Grouse (*Centrocercus urophasianus*) display components by chronic industrial noise. *The Influence of Anthropogenic Noise on Birds and Bird Studies* (C. D. Francis and J. L. Blickley, Eds.). *Ornithological Monographs*. 74: 23 - 35.
- Blickley J. L., Blackwood D. and Patricelli G. L. (2012b). Experimental Evidence for the Effects of Chronic Anthropogenic Noise on Abundance of Greater Sage-Grouse at Leks. *Conservation Biology* 26: 461 - 471.
- Blickley, J. L., Word, K. R., Krakauer, A. H., Phillips, J. L., Sells, S. N., Taff, C. C., Wingfield, J. C. and Patricelli, G. L. (2012c). Experimental chronic noise is related to elevated fecal corticosteroid metabolites in lekking male greater sage-grouse (*Centrocercus urophasianus*). *PLoS ONE* 7.

- Brumm H. (2004). "The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird", *Journal of Animal Ecology*. 73(3): 434 - 440.
- Brumm, H. and Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behaviour*, 35: 151 - 209.
- Catchpole C. K. and Slater P. J. B. (2008). *Bird song: biological themes and variations*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Collins S. (2004). Vocal fighting and flirting. En: *Natures Music, The science of birdsong* (Marler, P. Slabbekoorn, H. editores). Elsevier Academic Press. 39 - 80.
- Dutilleux, G. (2012). Anthropogenic outdoor sound and wildlife: it's not just bioacoustics! *Conference of Acoustics*. 1 - 6.
- Dooling R. J. and Blumenrath H. S. H. (2013). "Avian Sound Perception in Noise", *Animal communication and noise*. H. Brumm, Springer-Verlag, Berlin, Germany. 229 - 251.
- Fernández-Juricic E. (2001). Avian spatial segregation at edges and interiors of urban parks in Madrid, Spain. *Biodiversity and Conservation*. 10: 1303 - 1316.
- Fuller R. A., Warren P. H. and Gaston K. J. (2007). Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biol Lett*. 3: 368 - 370.
- Francis C. D. and Barber J. R. (2013). A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 11: 305 - 313.
- Francis C. D., Ortega C. P. and Cruz A. (2011a). Vocal frequency change reflects different responses to anthropogenic noise in two subspecies of tyrant flycatchers. *Proc R Soc Lond B*. 278: 2025 - 203.
- Francis C. D., Paritsis J., Ortega C. P. and Cruz A. (2011b). Landscape patterns of avian habitat use and nest success are affected by chronic gas well compressor noise. *Landscape Ecol*. 26: 1269 - 80.
- Gil D. and Gahr M. (2002). The honesty of bird song: multiple constraints for multiple traits. *17: 133 - 141*

Gill F. B. (2006). "Ornithology" third edition. Audubon society. Editorial Freeman and Company. New York. USA.

Gill S. A., Job J. R., Myers K., Naghshineh K. and Vonhof M.J. (2015a). Toward a broader characterization of anthropogenic noise and its effects on wildlife. *Behav Ecol.* 26(2): 328 -33.

Gil D., Honarmand M., Pascual J., Pérez-Mena P. and Macias-Garcia C. (2015). Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise. *Behav Ecol.* 26: 435 - 443.

Grabarczyk E. E. and Gill S. A. (2019). Anthropogenic noise affects male house wren response to but not detection of territorial intruders. *PLoS ONE* 14(7): e0220576.<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220576>.

Halfwerk W., Holleman L. J. M., Lessells C. M. y Slabbekoorn H. (2011). Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology.* 48: 210 - 219.

Herrera J. M. I. (2013). Uso de la Bioacústica como herramienta para determinar la riqueza de aves del interior de la selva alta perennifolia en la zona núcleo de la Sierra de Santa Martha, Reserva de la Biosfera de los Tuxtlas, Veracruz. Tesis para la obtención de título de licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. México D.F.

Kight, C. R., and Swaddle J. P. (2011). How and why environmental noise impacts animals: An integrative, mechanistic review. *Ecology Letters.* 14: 1052 - 1061.

Wolf, B.O. and Jones, S.L. 2000. Vermilion Flycatcher (*Pyrocephalus rubinus*). En: *The birds of North America.* No. 484 (Eds: A. Podes y F. Gill.).

Koodsma, D. E., Byers, B. E., Goodale, E., Johnson, S. and Lui, W. C. (2001). Pseudoreplication in playback experiments, revisited a decade late. *Animal. Behav.* 61: 1029 - 1033.

Konishi M. (1985). Birdsong: from behavior to neuron. *Annu Rev Neurosci.* 8:125 - 170. doi:10.1146/annurev.ne.08.030185.001013.

Lackey M. A., Morrison M. L., Loman Z. G., Collier B. A. and Wilkins R. N. (2012). Experimental determination of the response of Golden-cheeked Warblers (Setophaga

chrysoparia) to road construction noise. *The Influence of Anthropogenic Noise on Birds and Bird Studies* (C. D. Francis and J. L. Bickley, Eds.). *Ornithological Monographs*. 74: 89 - 98.

Lenis, P. R., and R. Guillermo-Ferreira (2020). Effect of noise on behavioural response to simulated territorial intrusion in the great kiskadee (*Pitangus sulphuratus*). *Urban Ecosystems* 23: 93 – 96.

Liu W. C., Wada K., Jarvis E. D. and Nottebohm F. (2013). Rudimentary substrates for vocal learning in a suboscine. *Nat Commun*. 4: 2082. doi:10.1038/ncomms3082.

Lohr, B., Wright, T. F. and Dooling, R. J. (2003). Detection and discrimination of natural calls in masking noise by birds: estimating the active space of a signal. *Animal behavior*. 65: 763 - 777.

Lovel, S. F. and Lein, M. R. (2004). Neighbor-stranger discrimination by song in a suboscine bird, the alder flycatcher, *Empidonax alnorum*. *Behav. Ecol*. 15: 799 - 804.

MacDougall-Shackleton S. A., Dindia L., Newman A. E. M., Potvin, D. A., Stewart K. A. and MacDougall-Shackleton E. A. (2009). Stress, song and survival in sparrows. *Biol. Lett*. 5: 746 - 748.

Marler, P. 2004. Bird calls: a cornucopia for communication. En: *Natures Music, The science of birdsong* (Eds: Marler, P. Slabbekoorn, H.). Elsevier Academic Press. 132 - 176.

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

Mindlin, G.B. y Laje R. (2005). *The physics of bird song*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Países Bajos.

Odom K. J., Hall M. L., Riebel K., Omland K. E. and Langmore N. E. (2014). Female song is widespread and ancestral in songbirds. *Nature Communications*. 5: 3379. doi: 10.1038/ncomms4379.

Ortega, C. P. (2012). Effects of noise pollution on birds: A brief review of our knowledge. *The Influence of Anthropogenic Noise on Birds and Bird Studies* (C. D. Francis and J. L. Blickley, Eds.). *Ornithological Monographs*. 74: 6 - 22.

Patricelli G. L. and Blickley J. L. (2006). Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment. *Auk*. 123: 639 – 649.

Peake T. M., Terry A. M. and McGregor P. K. (2002). Dabelsteen T. Do great tits assess rivals by combining direct experience with information gathered by eavesdropping? *Proc Biol Sci*. 269 (1503): 1925 - 1929. doi:10.1098/rspb.2002.2112.

Pohl N. U., Slabbekoorn H., Klump G. M. and Langemann U. (2009). Effects of signal features and environmental noise on signal detection in the great tit, *Parus major*. *Animal Behav*. 78: 1293 - 1300.

Pohl N. U., Leadbeater E., Slabbekoorn H., Klump G. M. and Langemann U. (2012). Great Tits in urban noise benefit from high frequencies in song detection and discrimination. *Animal Behav* 83: 711 – 721.

Pohl N. U., Slabbekoorn H., Neubauer H., Heil P., Klump G. M. and Langemann U. (2013). Why longer song elements are easier to detect: threshold level-duration functions in the Great Tit and comparison with human data. *J Comp Physiol A*. 199: 239 - 252. DOI 10.1007/s00359-012-0789-z.

Price J. J. (2013). Why is birdsong so repetitive? Signal detection and the evolution of avian singing modes. *Behaviour*, 150: 995 - 1013.

Raikow R. J. and Bledsoe A. H. (2000). Phylogeny and Evolution of the Passerine Birds. *BioScience*. 50(6): 487 - 499.

Ríos Chelén, A. A., Macías García, C. and Riebel K (2005). Variation in the song of a sub-oscine, the vermilion flycatcher. *Behaviour*. 142: 1121 - 1138

Ríos-Chelén, A. A. and Macías García, C. (2007). Responses of a sub-oscine bird during playback: effects of different song variants and breeding period. *Behav Process*. 74: 319 - 325.

Ríos-Chelén, A. A. (2009). Bird song: the interplay between urban noise and sexual selection. *Oecol Brasil*. 13: 153 - 16.

Ríos-Chelén, A. A., Salaberria, C., Barbosa, I. and Macías García, C, Gil. (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. *J Evol Biol*. doi:10.1111/j.14209101.2012. 02597.x

Ríos-Chelén, A. A., Quirós-Guerrero, E., Gil, D. and Macías García, C. (2013). Dealing with urban noise: vermilion flycatchers sing longer songs in noisier territories. *Behav Ecol Sociobiol*. 67: 145 - 152.

Ríos-Chelén, A. A., Cuatianquiz-Lima C., Bautista A. and Martínez-Gómez M. (2018a). No reliable evidence for immediate noise-induced song flexibility in a suboscine. *Urban Ecosyst*, 21: 15 - 25.

Ríos-Chelén A. A., Crisanto-Téllez G. L., Quiros-Guerrero E. y Rivera-Caceres K. D. (2018b). Territorial responses to song components in a suboscine, the vermilion flycatcher. *Behavioural Processes*. DOI, <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2018.06.012>

Rivera-Cáceres K., Macías Garcia C., Quirós-Guerrero E. and Ríos-Chelén A. A. (2011). An interactive playback experiment shows song bout size discrimination in the suboscine vermilion flycatcher (*Pyrocephalus rubinus*). *Ethology* 117: 1120 - 1127.

Stoddard P. K., Beecher M. D., Horning C. L. and Campbell S. E. (1991). Recognition of individual neighbors by song in the Song Sparrow, a species with song repertoires. *Behav Ecol Sociobiol*. 29 (3): 211 - 5.

Slabbekoorn H. and Peet, M. (2003). Birds sing at higher pitch in urban noise. *Nature*. 426: 267 - 267.

Slabbekoorn H. (2004). Habitat-dependent ambient noise: Consistent spectral profiles in two African forest types. *J. Acoust. Soc. Am*. 116: 3727 - 3733.

Smith W. J. (1967). Displays of the vermilion flycatcher (*Pyrocephalus rubinus*). *Condor*. 69: 601 - 605.

Smith W. J. (1970). Courtship and territorial displaying in the Vermilion Flycatcher, *Pyrocephalus rubi-nus*. *Condor* 72: 488 - 491.

Tubaro P. L. (1999). Bioacústica aplicada a la sistemática, conservación y manejo de poblaciones naturales de aves. Laboratorio de Biología del Comportamiento, Instituto de Biología y Medicina Experimental. Vta. de Obligado 2490 -1428 Buenos Aires, Argentina. *Etología*. 7: 19 - 32.

Todt, D. and Naguib M. (2000). Vocal interactions in birds: The use of song as a model in communication. *Advances in the Study of Behavior*. 29: 247 - 296.

Wood W. E., and Yezerinac S. M. (2006). "Song sparrow (*Melospiza melodia*) song varies with urban noise", *The Auk*. 123(3): 650 - 659.

Whelan, C. J., Şekercioglu, Ç. H. and Wenny, D. G. (2015). Why birds matter: from economic ornithology to ecosystem services. *J Ornithol* 156. 227 - 238.

Zollinger S. A., Slater P. J. B., Nemeth E. and Brumm H. (2017). Higher songs of city birds may not be an individual response to noise. *Proc. R. Soc. B*. 284: 20170602.