



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

El rol del ruido urbano y la luz artificial nocturna
en la variación de la estructura del canto de un
ave suboscina, el mosquero cardenal
(*Pyrocephalus rubinus*)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Sandra José Ramírez

Codirectores

Dr. Alejandro A. Ríos Chelén

Dr. Jorge Vázquez Pérez

Tlaxcala, Tlax.

Noviembre 2020



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

El rol del ruido urbano y la luz artificial nocturna
en la variación de la estructura del canto de un
ave suboscina, el mosquero cardenal
(*Pyrocephalus rubinus*)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Sandra José Ramírez

Comité tutorial

Dr. Alejandro A. Ríos Chelén

Dr. Jorge Vázquez Pérez

Dra. Bibiana Carolina Montoya Loaiza

Dra. Palestina Guevara Fiore

Tlaxcala, Tlax.

Noviembre 2020

Financiamiento

Esta investigación fue realizada con una Beca Nacional con clave CVU 926360 en el Programa de Maestría en Ciencias Biológicas del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATx) que pertenece al Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Autorización



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 **Sandra José Ramírez** 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: **“El rol del ruido urbano y la luz artificial nocturna en la variación de la estructura del canto de un ave suboscina, el mosquero cardenal (*Pyrocephalus rubinus*)”**.

Sin otro particular, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE
TLAXCALA, TLAX., SEPTIEMBRE 29 DE 2020



DRA. BIBIANA CAROLINA MONTOYA LOAIZA




DR. ALEJANDRO ARIEL RÍOS CHELÉN



DR. AMANDO BAUTISTA ORTEGA



DRA. TIZEL ARIAS DEL RAZO



DRA. BÁRBARA CRUZ SALAZAR



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



Agradecimientos

Al Programa de Maestría en Ciencias Biológicas del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATx) por ser mi segunda casa durante estos dos años y por permitirme ser parte de su cálida comunidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la Beca Nacional con clave CVU 926360.

A mis codirectores Dr. Alejandro Ariel Ríos Chelén y Dr. Jorge Vázquez Pérez por guiarme y acompañarme en el desarrollo de esta investigación, por sus valiosos comentarios y recomendaciones que siempre nutrieron el proyecto. He aprendido mucho no solo de su conocimiento sino de su ejemplo.

A mis tutoras Dra. Bibiana Carolina Montoya Loaiza y Dra. Palestina Guevara Fiore por la dedicación puesta en la cada revisión y por las observaciones siempre pertinentes que no solo contribuyeron en el desarrollo de esta investigación sino también en mi desarrollo académico y profesional.

A mis papás Raúl José Ramírez, Juana Ramírez Mancilla y a mi hermano Oscar porque siempre han estado pendientes y presentes, porque son mi motor y mi alegría. No estaría aquí sin su apoyo y confianza.

A mi esposo César porque todo en la vida es más y mejor a tu lado, esta etapa no habría sido la misma sin tu amor y apoyo incondicional.

A mis tíos, primos y abuelito, por compartir el entusiasmo y motivarme a continuar creciendo.

A Iván Morales Manzo por estar conmigo aún en la distancia y por las charlas siempre inspiradoras y reconfortantes.

A Carolina Muñoz Maceda, Araceli García Barcenás y Karen George Gutiérrez por compartir la vida y la alegría de vivirla.

A Nayeli Chávez Mendoza, Yesenia Fernández Pérez y Luis Osorio Cordero por su compañía, complicidad, apoyo y sincera amistad que hicieron fugaces e inolvidables estos años.

Al Dr. Andrés E. Estay Stange por creer en mí, por su amistad, por apoyarme, enseñarme y guiarme desde el primer momento en que la vida nos puso en el mismo camino.

Al Dr. Amando Bautista por las enseñanzas, la amistad y sabio consejo.

A la Dra. Verónica Reyes Meza por su amistad y enseñanzas.

Para mamá y papá, todo por y para ustedes.

Resumen

Existe consenso respecto a que las aves urbanas tienden a variar la estructura de sus cantos en relación con nivel de ruido urbano al que están expuestas. Sin embargo, aún es escasa la evidencia sobre la existencia de una relación similar con el nivel de luz nocturna. Un estudio realizado en Ciudad de México, México, señala que la longitud del canto del mosquero cardenal (*Pyrocephalus rubinus*) guarda una relación positiva con el nivel de ruido urbano en sus territorios. Sin embargo, los resultados de otro estudio realizado en Tlaxcala, México sugieren que la longitud de su canto está relacionada con el nivel de luz nocturna, no así con el de ruido urbano. De acuerdo con esta evidencia, en este trabajo se buscó evaluar si la interacción del ruido urbano y la luz nocturna explica la variación de la longitud del canto de esta ave. Para ello, se grabó el canto de 41 machos adultos durante el coro del amanecer de la temporada reproductiva del año 2019 en parques urbanos de la ciudad de Puebla y en la Ciudad de México, México. Los resultados señalaron que la interacción del ruido urbano y la luz nocturna no guardan una relación con la longitud del canto del mosquero cardenal, aunque el ruido urbano independientemente sí lo hace. También se observó que dicha interacción si se relaciona positivamente con la frecuencia pico del canto. Estos resultados sugieren que las aves suboscinas urbanas pueden ser sensibles a la contaminación acústica y lumínica de sus territorios, pero que estos contaminantes inducen variaciones de distinta naturaleza en su canto.

Tabla de contenido

Financiamiento	I
Autorización	II
Agradecimientos.....	III
Resumen	VI
Introducción.....	3
Marco teórico.....	3
El canto de las aves.....	3
Aves que cantan, oscinas y suboscinas.....	4
Control del canto en aves oscinas.....	4
Control del canto en aves suboscinas	5
Las aves siempre han cantado con ruido ambiental	6
Ciudades, los desafíos de la vida urbana	7
Contaminación por ruido urbano.....	8
Contaminación por luz artificial nocturna.....	8
Cantar en ambientes contaminados por ruido urbano	9
Cantar en ambientes contaminados con luz artificial	10
Coocurrencia de contaminantes ambientales.....	11
Especie de estudio.....	12

Mosquero cardenal (<i>Pyrocephalus rubinus</i>)	12
Antecedentes.....	14
Justificación.....	17
Objetivos.....	19
Metodología.....	20
Área de estudio	20
Sesión de grabación de cantos y registro de variables ambientales.....	21
Análisis acústico	23
Análisis estadístico	24
Resultados.....	26
Territorios y cantos del mosquero cardenal.....	26
Variación en el número de elementos introductorios del canto.....	27
Variación en la frecuencia pico del canto.....	30
Discusión.....	33
Conclusiones	37
Perspectivas	38
Literatura citada.....	39

Introducción

Marco teórico

El canto de las aves

Las aves del orden *Passeriformes*, también conocidas como aves de percha, se comunican con conespecíficos y heteroespecíficos mediante señales acústicas de gran alcance conocidas como cantos y llamados (Päckert, 2018). Entre las características que diferencian a ambas señales acústicas pueden enlistarse las siguientes: los cantos suelen presentar un patrón claro de notas, sílabas y frases. En general, los cantos son emitidos únicamente por los machos en contextos de cortejo o defensa de territorio pues acarrear información referente a su condición, identidad, etcétera. En la mayoría de las especies los cantos son producidos principalmente durante la temporada reproductiva y en mayor medida durante el crepúsculo, generando dos picos de actividad diaria llamados coro del amanecer y atardecer, aunque también pueden ser producidos espontáneamente durante el día (Päckert, 2018). A diferencia de los cantos, los llamados tienden a ser cortos y simples, generalmente compuestos por una sola nota. Éstos son emitidos por ambos sexos en diferentes contextos por lo que pueden distinguirse llamados de alarma, contacto, vuelo y ruego por lo que son emitidos todo el año y repetidamente a lo largo del día (Päckert, 2018). Es importante precisar que los cantos y llamados, en su carácter de señales acústicas o sonidos, presentan características que definen su capacidad de propagarse en el medio: entre ellas su amplitud, medida en decibelios (dB) y su frecuencia, medida en Hertzios (Hz) (Boncoraglio y Saino, 2007; Barker, 2008).

Aves que cantan, oscinas y suboscinas

Dentro del orden *Passeriformes* pueden diferenciarse dos subórdenes: *Passeri* conformado por las aves conocidas como canoras u oscinas y *Tyranni* constituido por las aves llamadas clamadoras o suboscinas (Päckert, 2018). Entre ambos subórdenes existen diferencias conductuales, neuroanatómicas y fisiológicas que resultan en distintas capacidades vocales y diferencias en el control de la producción del canto (Gahr, 2000; Farries, 2001; Ríos-Chelén et al., 2012; Liu et al., 2013).

Control del canto en aves oscinas

Las aves oscinas presentan una serie de núcleos cerebrales interconectados que conforman el Sistema de Control del Canto (Song Control System): específicamente los núcleos HVC (High vocal center) y RA (Robust nucleus of the Arcopallium) participan en el control de la producción del canto mientras que DLM (Dorsolateral anterior thalamic nucleus), LMAN (Lateral magnocellular nucleus of the nidopallium) y Área X participan en el aprendizaje de este. Este circuito además inerva la siringe lo que permite la modulación de las vocalizaciones (Gahr, 2000).

En general, las aves oscinas juveniles requieren atravesar por un proceso de aprendizaje del canto, durante su fase juvenil las aves practican y reciben retroalimentación de tutores conespecíficos durante la ontogenia, esta retroalimentación de diversos tutores implica la posibilidad de que los cantos aprendidos por los juveniles presenten variaciones inter-individuales e inter-poblacionales a través de un proceso conocido como evolución cultural (Luther y Baptista, 2010). Además, durante su vida adulta se ha documentado que estas aves presentan plasticidad vocal inducida por el ruido urbano (Bermúdez-Cuamatzin et al., 2011;

Hanna et al., 2011), o bien, variaciones permanentes en sus cantos inducidas por la exposición crónica a condiciones de ruido ambiental (Brumm, 2004; Hanna et al., 2011); ambos tipos de variaciones del canto podrían ser explicadas por la complejidad de su Sistema de Control de Canto y tienden a resultar en la diversificación y ampliación del repertorio de las especies.

Estos núcleos experimentan variaciones morfológicas y fisiológicas en respuesta a las condiciones ambientales que repercuten en variaciones en la producción del canto. Específicamente, los núcleos HVC y RA son sensibles a las variaciones estacionales del fotoperiodo y sus consecuentes variaciones en la concentración de melatonina (Bentley y Ball, 2000; Wang et al., 2012). Se ha observado que estas oscilaciones estacionales en las concentraciones hormonales inducen incremento del volumen de estos núcleos durante la primavera y su reducción en otoño, cuando los núcleos cerebrales son más grandes los gorriones cantores (*Melospiza melodia*) emiten cantos con mayor número de sílabas, además, las sílabas y los cantos son más estereotipados (Smith et al., 1997).

Control del canto en aves suboscinas

La mayoría de las aves suboscinas desarrollan su canto sin necesidad de recibir retroalimentación de tutores conespecíficos (Liu et al., 2013; Touchton et al., 2014). A pesar de esta ausencia de intercambio cultural entre generaciones, se ha evidenciado la existencia de variación inter-individual e inter-poblacional en la estructura de los cantos y ésta ha sido atribuida a diferencias genéticas y al tipo de hábitat que ocupan (Foote et al., 2013; Lovell y Lein, 2013).

Sin embargo, respecto a la versatilidad vocal de estas aves, la información disponible sugiere que la mayoría de ellas no tienen la capacidad de modificar la estructura de sus cantos

de forma inmediata ni reversible ante las condiciones acústicas de su entorno (Francis et al., 2010; Ríos-Chelén et al., 2018).

El conocimiento que se tiene sobre el control del canto en aves suboscinas es escaso. Si bien se ha comprobado que no presentan núcleos cerebrales diferenciados e interconectados en un sistema como las aves oscinas (Gahr, 2000; Saldanha et al., 2000), sí se ha reportado que su cerebro presenta regiones molecular y morfológicamente similares a los núcleos HVC y RA del Sistema de Control de Canto de las aves oscinas (Saldanha et al., 2000; Farries, 2001; Liu et al., 2013), por lo que se ha discutido que el cerebro suboscino podría ser una versión menos especializada del cerebro oscino y presentar funciones homólogas (Farries, 2001).

A la par se han descrito otros mecanismos de control de la producción del canto en aves de este suborden como: el control mediado por la presión en los sacos aéreos (Amador et al., 2008), o por receptores de andrógenos periféricos en los nervios de la siringe (Fuxjager et al., 2014).

Las aves siempre han cantado con ruido ambiental

En general, el ruido es todo aquel factor que en cualquier sistema de comunicación reduce la capacidad del receptor de detectar una señal o de discriminarla de otra en un contexto de comunicación acústica, el ruido es un sonido que ocurren en el ambiente al mismo tiempo que la transmisión de una señal acústica entre el emisor y el receptor y que interfiere con la comunicación (Brumm y Slabbekoorn, 2005). Dicho esto, es importante considerar que el ruido ambiental es algo común en todos los ecosistemas terrestres, su origen, constancia o eventualidad durante el día son variadas pues dependen del tipo y estructura de la vegetación, del clima y de los animales presentes. En este tipo de hábitat, las fuentes principales de ruido son: la turbulencia del viento causada por su paso a través de la vegetación o sobre los bordes

del sustrato, la lluvia o las corrientes de agua y el paso de los animales, así como algunos sonidos que éstos emiten (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

Cuando los sonidos ambientales y las vocalizaciones de las aves coinciden en tiempo espacio y características acústicas sucede un fenómeno conocido como enmascaramiento en el que los cantos y llamados son indistinguibles del paisaje acústico. Este fenómeno interfiere con el proceso comunicativo de las aves y puede interrumpir parcial o totalmente la transmisión de información (Brumm y Slabbekoorn, 2005; Barber et al., 2009). Puesto que los animales siempre han estado expuestos a este tipo de ruido, esto les ha provisto de la oportunidad de modificar sus cantos a través del tiempo evolutivo y de mantener la comunicación acústica en ambientes ruidosos (Brumm, 2004).

Ciudades, los desafíos de la vida urbana

La urbanización es un proceso de transformación de los ecosistemas, dramático e irreversible, que implica la sustitución de áreas con vegetación por edificaciones, carreteras y otras estructuras. Provoca la pérdida y fragmentación del hábitat, la modificación del flujo de recursos, la alteración de las interacciones intra e interespecíficas, la invasión de especies exóticas y la acumulación de contaminantes provenientes de las actividades residenciales e industriales (Gil y Brumm, 2014). Este cúmulo de condiciones representa un desafío para las aves, entre los factores estresantes presentes en las ciudades se han identificado al menos cuatro que funcionan como fuerzas de selección sobre las aves que las habitan: contaminación química, ruido, luz artificial nocturna y presencia humana (Isaksson, 2018).

Teniendo esto en consideración, diferentes investigaciones han sido dirigidas al estudio de la comunicación aviar en contextos urbanizados, donde los cantos y llamados co-ocurren con

diferentes factores que podrían afectar su transmisión o su detección por conoespecíficos (Warren et al., 2006; Halfwerk y Slabberkoorn, 2015; Swaddle et al., 2015).

Contaminación por ruido urbano

El ruido urbano está compuesto principalmente por el sonido del tránsito vehicular o aéreo, recreación motorizada, maquinaria de construcción o mantenimiento, extracción de recursos e industria; este se ha descrito en un rango de frecuencia variable entre los 0 – 4 KHz (Slabbekoorn y Peet, 2003; Brumm, 2004; Warren et al., 2006). El ruido urbano se considera un contaminante debido a que interfiere con la comunicación acústica de los organismos, disminuyendo la eficiencia de la transmisión de sus cantos o llamados. Debido a su rango de frecuencia, cuando el ruido urbano ocurre simultáneamente al canto o llamado de las aves, puede sobreponerse acústicamente a sus componentes de menor frecuencia (más graves), enmascarándolos y reduciendo la probabilidad de que el receptor los detecte e identifique (Brumm y Slabbekoorn, 2005; Warren et al., 2006; Barber et al., 2009; Gil y Brumm, 2014; McMullen et al., 2014). La contaminación por ruido además puede provocar la pérdida de audición, inducir estrés y variaciones en la conducta vocal, de forrajeo y vigilancia, reducir la adecuación o cambios en la estructura de las comunidades (Barber et al., 2010; Tennessen et al., 2016).

Contaminación por luz artificial nocturna

La luz artificial nocturna está compuesta por la iluminación que emana directamente de una fuente de luz (alumbrado público, residencial, industrial y automovilístico, etc.) y por el brillo que esta provoca al reflejarse en la atmósfera o en las nubes (Longcore y Rich, 2004; Gaston et al., 2015). Este tipo de luz se considera un contaminante debido a que interrumpe parcial o

totalmente los ciclos diarios, lunares y estacionales de oscuridad pues ha sido introducida en el ambiente en lugares, horarios, intensidades y espectros que no ocurren naturalmente (Longcore y Rich, 2004; Gaston et al., 2015). La relevancia biológica de este tipo de contaminación se aprecia cuando se considera la luz como una señal fisiológica que afecta procesos bioquímicos y fisiológicos que subyacen conductas en las aves u otros organismos (Dominoni, 2015; Gaston et al., 2015). En este sentido, la exposición a luz artificial nocturna puede inducir variaciones conductuales en las aves urbanas como prolongaciones de los horarios de actividad o desfases en su temporada de muda, reproducción o migración respecto a sus contrapartes rurales, o bien, podría comprometer la producción normal de su canto (Da Silva et al., 2014; Dominoni et al., 2014; Nakamura, 2017).

Cantar en ambientes contaminados por ruido urbano

A lo largo del tiempo evolutivo han sido favorecidos diversos mecanismos o estrategias que favorecen la transmisión de los cantos de las aves a través de ambientes ruidosos (Brumm y Slater, 2006). Estos mecanismos involucran variaciones del canto de corto o largo plazo: los de corto plazo están basados en la plasticidad del canto, es decir, en la capacidad de ajustarlo en respuesta a las condiciones sonoras inmediatas de forma reversible, mientras que, los ajustes de largo plazo ocurren durante el aprendizaje del canto en la ontogenia o como cambios evolutivos (Ríos-Chelén, 2009). Por lo tanto, cuando las aves habitan las ciudades y se encuentran expuestas a ruido en su entorno puede observarse que presentan uno o más de estos mecanismos. En primera instancia, las aves pueden aumentar la intensidad o amplitud de sus cantos o llamados en respuesta a un incremento en la intensidad del ruido ambiental, lo que se conoce como el efecto Lombardo (Brumm y Todt, 2002; Brumm, 2004). Las aves también pueden

aumentar el tono de sus vocalizaciones, es decir, producirlas con mayor agudeza o frecuencia (Hz) lo que resulta en la reducción de la posibilidad de que la frecuencia del ruido urbano se sobreponga parcial o totalmente con la de sus cantos o llamados (Slabbekoorn y Peet, 2003; Bermúdez-Cuamatzin et al., 2011; Job et al., 2016; Gentry et al., 2018). Adicionalmente, las aves pueden disminuir el ancho de banda (Gentry et al., 2018) o la duración de sus cantos (Gentry et al., 2018). Incluso pueden aumentar la duración (Ríos-Chelén et al., 2013) o la redundancia de cantos (Brumm y Slater 2006), lo que podría aumentar la probabilidad de que el receptor detecte la información contenida en el canto obteniendo fragmentos de información por separado en las repeticiones de la señal. Incluso hay mecanismos que involucran emitir cantos durante el horario nocturno cuando el ruido urbano tiene menor intensidad (Fuller et al., 2007; Dorado-Correa et al., 2016) o emitirlos en sitios donde el ruido urbano es menos intenso (Francis et al., 2010).

Cantar en ambientes contaminados con luz artificial

A lo largo del tiempo evolutivo, las aves han estado expuestas a ciclos diarios y estacionales de luz, por ello estos ciclos se convirtieron en una clave ambiental importante que modula importantes procesos fisiológicos y conductuales (Bentley y Ball, 2000; Whitfield-Rucker y Cassone, 2000; Dawson et al., 2001; Cassone et al., 2008; Wang et al., 2012). La presencia de luz artificial nocturna en las ciudades modifica estos ciclos naturales y acarrea variaciones en la conducta vocal de las aves (Kempnaers et al., 2010; Da Silva et al., 2014; Moaraf et al., 2020). Una de estas variaciones es la prolongación de los horarios de actividad de las aves (Dominoni et al., 2013; Dominoni, 2015).

Específicamente se ha correlacionado la presencia de luz artificial nocturna con el adelanto del inicio del coro del amanecer o el retraso en la finalización del coro del atardecer, lo que resulta en que las aves tengan actividad durante la noche (Miller, 2006; Kempenaers et al., 2010; Wang et al., 2012; Nordt y Klenke, 2013; MacGregor-Fors et al., 2011; Dominoni et al., 2014; Da Silva et al., 2014; Spoloestra y Visser, 2014; de Jong et al., 2016).

Se ha estudiado en menor medida la influencia de la exposición a luz artificial nocturna en los procesos fisiológicos involucrados en la producción del canto de las aves; la información disponible proviene de estudios experimentales que han comprobado el papel del fotoperiodo y la concentración de melatonina en la variación del volumen de los núcleos cerebrales del Sistema de Control de Canto de aves canoras (Bentley y Ball, 2000; Whitfield-Rucker y Cassone, 2000; Cassone et al., 2008). Únicamente un estudio ha comprobado experimentalmente que la exposición a la luz constante durante el día y la noche y su consecuente reducción en la melatonina circulante, pueden inducir la reducción de la duración del canto en un ave oscina, el pinzón cebra (*Taeniopygia guttata*) (Derégnaucourt et al., 2012). Además, existen reportes de que la longitud del canto de un ave suboscina se correlaciona con la intensidad de la luz en sus territorios, lo que significa que las aves expuestas a mayor cantidad de luz durante la noche emiten cantos con más elementos (Nakamura, 2017).

Coocurrencia de contaminantes ambientales

Puesto que en general las aves urbanas están expuestas, a la contaminación química, ruido, luz artificial nocturna y presencia humana (Issakson, 2018) diversos autores han propuesto que el estudio de la conducta aviar en relación con ambientes antropizados debería ser estudiada considerando estos y otros contaminantes simultáneamente (Warren et al., 2006; Halfwerk y

Slabberkoorn, 2015; Swaddle et al., 2015). A la fecha, se ha abordado el estudio de la conducta vocal de las aves en función de su exposición a ruido urbano y luz artificial nocturna, específicamente el impacto de estos contaminantes sobre la variación de su horario de actividad (Fuller et al., 2007; Da Silva et al., 2014; Kempenaers et al., 2010; Nordt y Klenke, 2013). Los autores coinciden en que la luz artificial nocturna induce la prolongación del tiempo en que las aves emiten el coro del amanecer y del atardecer, provocando actividad nocturna en ambos casos. Una excepción reportada por Dorado-Correa et al. (2016) quienes señalan que las aves ecuatoriales no presentan este impacto por la luz nocturna; ellos sugieren que debido a que el fotoperiodo en la zona tropical no es muy diferente a lo largo del año no constituye una clave ambiental tan importante en el ciclo circadiano de las aves.

Recientemente, Nakamura (2017) evaluó la co-ocurrencia de ruido urbano y luz artificial nocturna sobre la variación en la estructura del canto de un ave suboscina y señala que en presencia de bajos niveles de ruido urbano, la luz artificial nocturna explica la variación del canto del mosquero cardenal.

Especie de estudio

Mosquero cardenal (Pyrocephalus rubinus)

El mosquero cardenal es un ave suboscina de la familia Tyranidae, territorial (Ríos-Chelén y Garcia-Macias, 2007) y monógama social que incurre en varias formas de reproducción extra pareja (Ríos-Chelén et al., 2008). Suele habitar sitios con vegetación abierta donde existen árboles de baja altura o arbustos dispersos (Taylor y Hanson, 1970). Por ello, pueden ocupar remantes de bosques dentro de la ciudad, parques urbanos, estacionamientos, canchas de deportes, entre otros espacios abiertos.

En esta especie, solo los machos cantan y presentan dos tipos de canto: uno lo produce predominantemente durante el crepúsculo y siempre desde una percha dentro de su territorio (Ríos-Chelén et al., 2005) y el otro es producido durante el día mientras realiza despliegues de vuelo, conocidos como vuelo de mariposa (Ríos-Chelén y Macías-García, 2004). El canto de percha está compuesto por dos partes: la primera conformada por un número variable de elementos introductorios (EI), la segunda integrada por dos elementos intermedios (IN), uno de alta frecuencia (AF) y uno terminal (T) (Ríos-Chelén et al., 2005).

Se ha reportado que el número de elementos introductorios en el canto es relevante dentro de la comunicación intrasexual pues la cantidad de elementos introductorios se correlaciona con la respuesta territorial de los machos; a mayor cantidad de ellos mayor es la frecuencia con que el receptor responde llamando o cantando (Ríos-Chelén y Garcia-Macias, 2007). Y, de hecho, se ha sugerido que el número de elementos introductorios podría estar correlacionado con la calidad de los machos (Ríos-Chelén et al., 2013).

Antecedentes

Puesto que las aves suboscinas desarrollan su canto sin la necesidad de pasar por un proceso de aprendizaje (Touchton et al., 2014; Liu et al., 2013) se consideraba que estas aves no presentaban variación interindividual en su canto; sin embargo, existe evidencia correlativa de que sí la presentan y que esta se debe a diferencias genéticas y al tipo de hábitat que ocupan (Seddon, 2005; Robertson et al., 2009; Lovell y Lein, 2013). Puesto que las aves suboscinas también ocupan ambientes urbanizados se ha evaluado si estas variaciones interindividuales en el canto se correlacionan con el ruido urbano (Francis et al., 2010; Ríos-Chelén et al., 2013; Gentry et al., 2018) y más recientemente con la luz nocturna (Nakamura, 2017).

En un estudio correlativo realizado por Francis et al. (2010) se evaluó si las características del canto y la ocupación del hábitat de los papamoscas cenizos (*Myiarchus cinerascens*) y los papamoscas bajacolita (*Empidonax wrightii*) era explicada por el nivel de ruido urbano. Se esperaba que el ruido urbano interfiriera de forma diferencial con la comunicación y el uso del hábitat de cada especie, puesto que el papamoscas bajacolita, emite cantos con un rango de frecuencia de $\sim 1.5 - 7$ kHz, mientras que, el papamoscas cenizo (*Myiarchus cinerascens*) canta en un rango de frecuencia de $\sim 1.0 - 4.0$ kHz; es decir, sería más susceptible a la interferencia acústica del ruido urbano. Después de grabar individuos en un gradiente de intensidad de ruido urbano, se observó que los papamoscas bajacolita evadieron el uso de los sitios más ruidosos y que su canto no presentaba variaciones en la frecuencia. Por otro lado, el papamoscas cenizo ocupaba todo el gradiente de intensidad de ruido urbano, incluso los sitios más ruidosos. Además, se observó que las aves de esta especie en los sitios con mayor intensidad de ruido emitían los cantos más agudos. Esta variación en el canto les permite ocupar espacios de los que otras especies son excluidas (Francis et al., 2010).

En otro estudio experimental en campo realizado por Gentry et al. (2018) se evaluó si los cantos grabados en una población de papamoscas del este (*Contopus virens*) en un gradiente de ruido urbano producido por el tránsito vehicular variaba en relación con la intensidad de dicho ruido. Los resultados de este estudio señalaron que la frecuencia de cantos grabados aumentaba en relación positiva con la intensidad del ruido urbano, mientras que, el ancho de banda y la duración disminuían. Además, se observó que esta variación era reversible. Estos ajustes espectrales y temporales del canto favorecen su transmisión a través del ambiente, pues el aumento del tono del canto disminuye la posibilidad de que este sea enmascarado por el ruido urbano y la reducción de la duración del canto aumenta la probabilidad de que este sea escuchado en una ventana de silencio o de menor ruido urbano, sin embargo debido a la metodología no pudo comprobarse que esta variación inmediata y reversible fuera una respuesta individual o bien que los mosqueros con cantos más graves dejaran de cantar con el aumento del ruido experimental (Gentry et al., 2018).

En el mosquero cardenal, un ave que habita zonas urbanizadas, se ha estudiado cómo el ruido urbano y la luz artificial nocturna pueden interferir con la comunicación de esta ave (Ríos-Chelén et al., 2013; Nakamura, 2017). De estos estudios se ha concluido que el número de elementos introductorios de su canto se correlaciona con el nivel de ruido urbano de los territorios en que son grabados. Es decir, en territorios con bajo nivel de ruido urbano puede observarse a individuos emitiendo cantos con un número de elementos introductorios bajo, intermedio y alto; sin embargo, en los territorios donde el nivel de ruido urbano es alto solo se observan los individuos que emiten cantos con un número elevado de elementos introductorios (Ríos-Chelén et al., 2013). Se ha comprobado que esta variación del canto respecto al ruido no es una respuesta inmediata a las condiciones acústicas de su entorno, pues no hay evidencia de

que esta ave presente plasticidad en la longitud del canto inducida por ruido (Ríos-Chelén et al., 2018).

Solo Nakamura (2017) ha evaluado cómo la co-ocurrencia del ruido urbano y la luz artificial nocturna se correlacionan con la variación estructural del canto del cardenal mosquero. Sus resultados señalan que el nivel ruido urbano no explica la variación del número de elementos, pero si lo hace el nivel de luz artificial nocturna. El autor discute que es probable que esta variación sea disparada por la exposición a la luz durante la noche, que estaría interrumpiendo los procesos fisiológicos cerebrales modulados por el fotoperiodo y que el ruido urbano en sus territorios no sea suficientemente intenso como para explicar la variación del canto. Un estudio previo señala que el horario de actividad vocal del mosqueo cardenal se prolonga cuando sus territorios presentan luz artificial nocturna (MacGregor-Fors et al., 2011). Ya que un estudio mostró una relación entre ruido y longitud del canto (Ríos-Chelén et al 2013), pero otro una relación entre luz y longitud del canto (Nakamura 2017), no es claro si el ruido urbano y la luz nocturna afectan la estructura del canto en la misma medida e independientemente o si lo hacen en interacción.

Justificación

Este estudio permitirá determinar si el ruido urbano y la luz nocturna explican la variación de la estructura del canto de las aves suboscinas. Esta información sería relevante en la formulación de medidas integrales de mitigación que potencien el éxito de las aves urbanas.

Además, los resultados de este estudio contribuirán al conocimiento de cómo la contaminación lumínica juega un papel modulador en la estructuración del canto de las aves.

Hipótesis

- En niveles bajos de ruido urbano, la luz nocturna explica la variación en el número de elementos introductorios del canto del mosquero cardenal. No así, en niveles altos. De ser así, en los sitios dónde el ruido urbano sea bajo, el número de elemento introductorios se correlacionará con el nivel de luz nocturna.

Objetivos

General

Determinar cómo se correlacionan el nivel de ruido urbano, el nivel de luz nocturna y el número de elementos del canto del mosquero cardenal.

Particulares

Evaluar si la variación del número de elementos introductorios del canto es explicada por la interacción del ruido urbano y la luz nocturna.

Metodología

Área de estudio

El trabajo de campo fue realizado en dos áreas verdes urbanas, una en la ciudad de Puebla y otra en Ciudad de México. Específicamente en el Parque Ecológico Revolución Mexicana (PERM) (19.02966 - 98.185880) y en las áreas verdes de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (19.330913 - 99.181554). Ambos sitios están rodeados por avenidas principales y cuentan con luminarias durante la noche. Además, la UNAM es atravesada por avenidas internas de tránsito vehicular (Figura 1).

Ambos sitios albergan espacios semiabiertos con árboles, arbustos o estructuras de mediana altura que los mosqueros cardenales suelen usar como perchas.

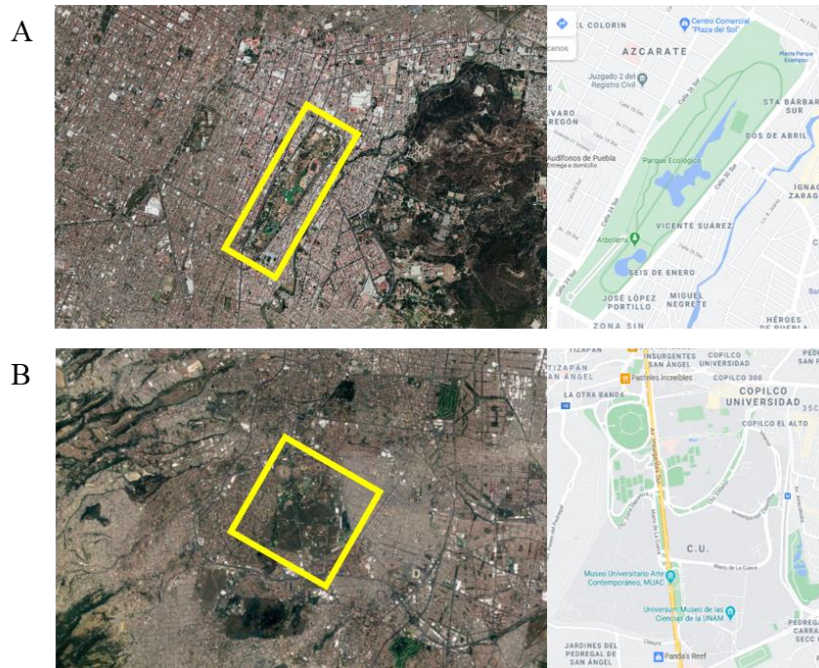


Figura 1. Localización y planos del (A) Parque Ecológico Revolución Mexicana (RECA) y (B) Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Sesión de grabación de cantos y registro de variables ambientales

Entre diciembre de 2018 y marzo de 2019 se realizaron recorridos exploratorios en PERM, con el fin de localizar territorios de mosqueros cardenales, machos adultos para facilitar su ubicación durante las sesiones de grabación. Los territorios de mosqueros cardenales de la UNAM ya habían sido ubicados geográficamente en investigaciones previas y sólo se asistió a este sitio durante las sesiones de grabación.

En abril de 2019 comenzaron las sesiones de grabación. Estas sesiones fueron realizadas una vez al día, entre semana, durante el coro del amanecer entre las 5:30 y las 7:00 hrs aproximadamente. Las sesiones se realizaron únicamente entre semana para procurar que el nivel de ruido urbano entre días de grabación fuera homogéneo, pues los fines de semana el tránsito vehicular disminuye.

Cada sesión de grabación fue dividida en tres momentos: inicial, intermedio y final. En cada momento fueron medidos el nivel de ruido urbano, de luz nocturna (que incluye toda la luz censada sin discriminar por la fuente que la emitía o reflejaba) y de temperatura ambiental. Con un sonómetro (SEW® 2310 SL, rango de 30-130 dB, medida de frecuencia A, respuesta rápida, ANSI S1.4, clase II) y un medidor de calidad de cielo que incluye termómetro (Sky Quality Meter o SQM, Unihedrom).

Las mediciones iniciales y finales se realizaron en series de seis, una cada 10 segundos. Las mediciones intermedias se realizaron intermitentemente cuando el macho focal no estaba vocalizando. Todas las mediciones se tomaron lo más cerca posible al sitio desde el que cantaba el macho focal, con el sonómetro y el SQM colocado sobre la cabeza del observador y apuntando hacia el cielo. Con esta serie de mediciones se obtuvieron los promedios de cada momento, de

esta forma, se obtuvieron medidas de ruido, luz y temperatura representativas de lo que experimentó el macho focal durante el coro del amanecer.

Los machos focales fueron identificados por el territorio en que estaban cantando pues estudios Ríos-Chelen et al. (2005) han referido que los mosqueros cardenales ocupan repetidamente los mismos territorios y perchas de canto dentro de ellas, esto se comprobó tras las observaciones de que dos machos marcados con bandas de colores ocuparan el mismo territorio durante cuatro años y otros doce han sido observados en las mismas perchas de canto durante toda su temporada reproductiva.

Para cada sesión se arribó al territorio de un mosquero cardinal diferente. Cuando el macho focal era localizado entre la vegetación mientras vocalizaba, se iniciaba a la grabación del canto con un micrófono unidireccional Sennheiser ME66 y una grabadora digital Marantz PMD221 a una tasa de muestreo de 22050 Hz y 16 bits de precisión. La técnica de grabación consistió en apuntar con el micrófono directamente hacia el mosquero focal, a una distancia entre los 5 y los 15 metros, intentando en la medida de lo posible dejar fuentes de ruido (ej. avenidas u otras aves vocalizando) atrás del observador.

Finalizamos la sesión de grabación cuando el macho focal dejaba de cantar y comenzaba a realizar otras actividades como llamar, volar de percha a percha o forrajear. Esto ocurría generalmente cuando el sol ya se encontraba sobre el horizonte.

Una vez finalizada la grabación fueron registradas las siguientes variables: fase lunar, aquella que indicó el portal electrónico de la NASA (<https://svs.gsfc.nasa.gov/4442>) para el día de la observación del mosquero focal (nueva, cuarto creciente, llena, cuarto menguante), cobertura del cielo (despejado o nublado) observada en campo; posición de la luna respecto al horizonte (luna se encontró por encima o debajo del horizonte) durante la grabación del

mosquero focal; y número de vecinos (número de mosqueros cardenales que se escucharon cantar en áreas adyacentes al territorio del macho focal).

Las sesiones de grabación finalizaron en junio del 2019, mes en el que los mosqueros cardenales dejaron de realizar el coro del amanecer lo que dio por terminada la temporada reproductiva.

Análisis acústico

Cada macho focal tuvo su propia grabación. En cada una hubo cantos grabados parcial y totalmente, algunos cantos se encontraron sobrepuestos con otros sonidos ambientales por lo que resultaban indistinguibles. Por lo tanto, para el análisis acústico sólo fueron considerados aquellos cantos grabados clara y completamente.

Para obtener una muestra representativa de los cantos de cada mosquero cardinal, cada grabación fue dividida en tres secciones dividiendo la duración total de la grabación entre tres: tercio inicial, tercio intermedio y tercio final. Los cantos de cada sección fueron numerados y marcados con un código individual con ayuda del software de análisis acústico Raven Pro v.1.5. (Bioacoustics Research Program, Cornell Laboratory of Ornithology). De esa numeración, fueron elegidos aleatoriamente diez cantos de cada tercio haciendo un total de treinta cantos por individuo.

La frecuencia pico (frecuencia con mayor amplitud, Hz) de los diez cantos de cada tercio fue medida automáticamente por el software Raven. Para ello primero fueron filtrados a paso alto con una frecuencia de corte de 2 KHz (todos los sonidos por debajo de 2 KHz se eliminaron). Después manualmente se contabilizó el número de elementos introductorios (se considera una medida de longitud del canto pues el número de elemento introductorios y la duración del canto

son medidas colineales) de los diez cantos de cada tercio, considerando como el primer elemento introductorio a aquel que se observaba en el espectrograma después del elemento final del canto anterior y como el último elemento introductorio a aquel que precedía al elemento intermedio del canto en cuestión.

Con estas mediciones se obtuvo el promedio de la frecuencia pico (Hz) y el promedio del número de elementos introductorios del canto de cada mosquero cardenal.

Análisis estadístico

Todas las variables cuantitativas, dependientes e independientes, fueron promediadas para el análisis estadístico. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software IBM SPSS Statistics ver. 25. Inicialmente se confirmó la normalidad de la distribución de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk (promedio de las variables dependientes número de elementos introductorios: 0.971 , $gl=41$, $p=0.378$ y frecuencia pico: 0.976 , $gl=41$, $p=0.522$, así como sus residuales 0.970 , $gl= 41$, $p= 0.336$ y 0.976 , $gl=41$, $p=0.544$, respectivamente). Para examinar qué variables ambientales explican la variación del número de elementos introductorios y la frecuencia pico del canto del mosquero cardenal se realizaron múltiples modelos lineales generalizados para examinar la relación entre los niveles de ruido urbano y luz artificial nocturna con los atributos espectrales y temporales del canto del mosquero cardenal. De estos, elegimos el modelo con menor valor de Criterio de Información de Akaike para muestras finitas (AICC). En estos modelos se introdujeron como covariables el ruido urbano promedio dB(A), la luz artificial nocturna (mcd), la temperatura promedio (°C), día de grabación, parque, condición del cielo, fase lunar y número de vecinos. Corrimos análisis

independientes para cada variable dependiente. Las variables y sus interacciones sin efectos significativos fueron excluidas del modelo usando un procedimiento de eliminación hacia atrás.

Se usó el Criterio de Información de Akaike (AIC) para seleccionar un modelo entre un conjunto de ellos que describen la relación entre las variables ambientales y la estructura del canto.

Resultados

Territorios y cantos del mosquero cardenal

Fueron analizados 1230 cantos de 41 mosqueros cardenales grabados durante la temporada reproductiva comprendida entre los meses de marzo y junio de 2019 en dos parques urbanos. Específicamente, 24 machos adultos en el Parque Ecológico Revolución Mexicana (PERM) y 17 en las áreas verdes de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). A continuación se describen estadísticamente las condiciones ambientales y las características de los cantos registrados en campo (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Promedio, desviación estándar y rango de variación entre paréntesis de las variables ambientales observadas en los parques urbanos.

Parque n=	Número de vecinos	Ruido urbano (dB (A))	Luz nocturna (mcd/m ²)	Temperatura ambiental (°C)
PERM 24	2.2 ± 1.21 (0 – 5)	46.5 ± 8.16 (43.37 – 54.88)	0.46 ± 1.18 (0.020 – 5)	15.20 ± 2.77 (12 – 24)
UNAM 17	1.52 ± 0.87 (0 – 3)	56.60 ± 6.53 (47.63 – 66.56)	1.71 ± 1.66 (0.25 – 5.84)	15.58 ± 1.87 (12.67 – 20)
Todos 41	1.9 ± 1.12 (0 – 5)	50.69 ± 6.879 (43.37 – 66.56)	0.98 ± 1.51 (0.02 – 5.84)	15.36 ± 2.41 (12 – 24.4)

Tabla 2. Promedio, desviación estándar y entre paréntesis rango de variación de las variables de respuesta observadas en los parques.

Parque n=	Elementos Introdutorios	Frecuencia pico (Hz)
PERM 24	6.20±1.21 (4.17 – 8.93)	4828.69 ± 169.03 (4536.31 – 5127.77)
UNAM 17	5.46±1.01 (4 – 7)	4857.04 ± 280.59 (4254 – 5489.54)
Todos 41	5.89±1.18 (4 – 8.93)	4840.44 ± 219.36 (4254.95 – 5489.54)

Variación en el número de elementos introductorios del canto

El modelo que explica la variación en el promedio del número de elementos introductorios incluye las variables: parque, número de vecinos, así como la interacción del parque y el nivel de ruido urbano promedio (AICC 128.061, $x^2=15.327$, $g.l.=1$, $p=0.004$; Tabla 3). Este modelo refleja que el promedio del número de elementos introductorios del canto del mosquero cardenal es estadísticamente distinto entre parques ($B=9.795$, $EE=4.034$, $x^2=5.893$, $g.l.=1$, $p=0.015$; Fig. 2), que el promedio del número de elementos introductorios del canto se correlaciona negativamente con el número de vecinos ($B=-0.328$, $EE=0.146$, $x^2=5.046$, $g.l.=1$, $p=0.025$; Fig. 3) y que la relación entre el número de elementos introductorios y el nivel de ruido urbano promedio solo ocurre en UNAM ($B=0.113$, $EE=0.037$, $x^2=9.222$, $g.l.=1$, $p=0.002$; Fig. 4).

Se reporta el resto de los modelos construidos (Tabla 3) y los efectos de las variables ambientales sobre la variación del número de elementos introductorios (Tabla 4).

Tabla 3. Modelos que explican la variación del número promedio de elementos introductorios del canto del mosquero cardenal que incluyen los efectos del ruido urbano, luz nocturna, número de vecinos y parque.

Modelo	AICC	Δ AICC	W	x^2	p
Parque*ruido urbano promedio, número de vecinos, parque	128.061	0	0.258	15.327	0.004
Parque, ruido urbano, número de vecinos	129.195	1.134	0.146	11.436	0.01
Parque, parque*ruido urbano promedio	130.063	2.002	0.094	10.568	0.014
Parque*ruido urbano promedio	130.62	2.559	0.071	7.408	0.025
Parque*ruido urbano promedio, número de vecinos	130.81	2.749	0.065	9.821	0.02

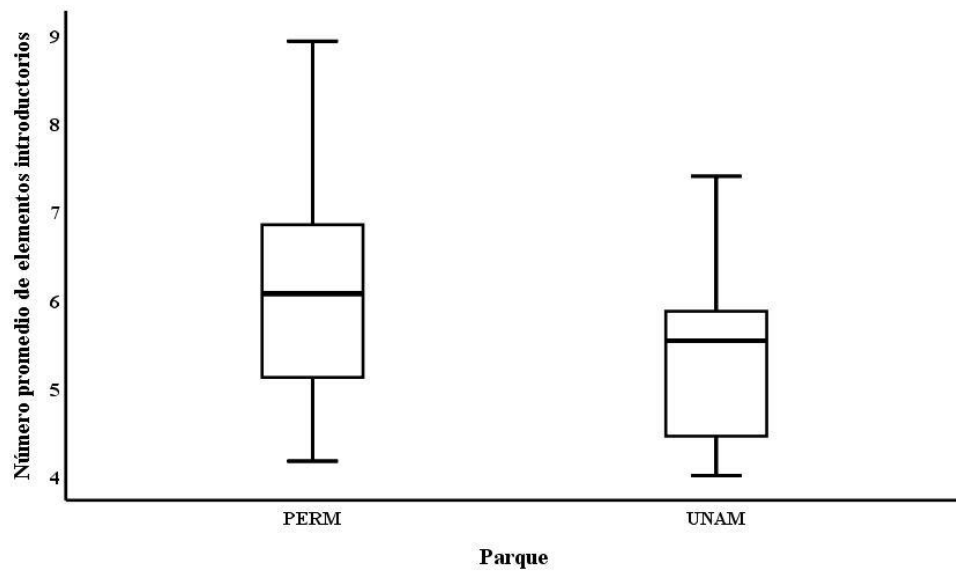


Figura 2. Diferencia entre el promedio del número de elementos introductorios del canto del mosquero cardinal entre parques. Los cantos de los mosqueros cardenales de PERM son significativamente más largos que en UNAM.

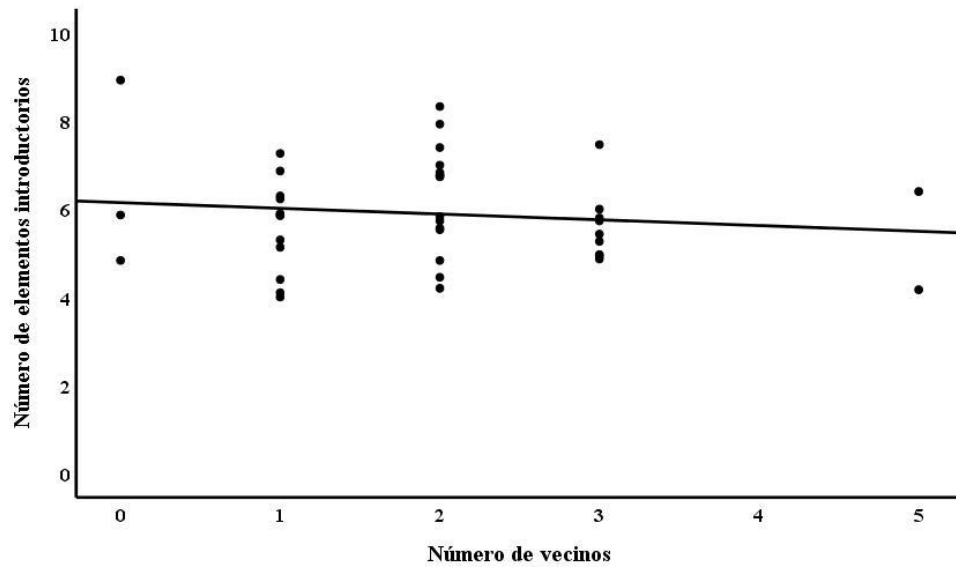


Figura 3. Relación entre el promedio del número de elementos introductorios y el número de vecinos cantando durante el coro del amanecer. Cada punto representa a un individuo. Cuando más vecinos tuvo el mosquero cardinal, menor fue la longitud de su canto. $R^2=0.016$.

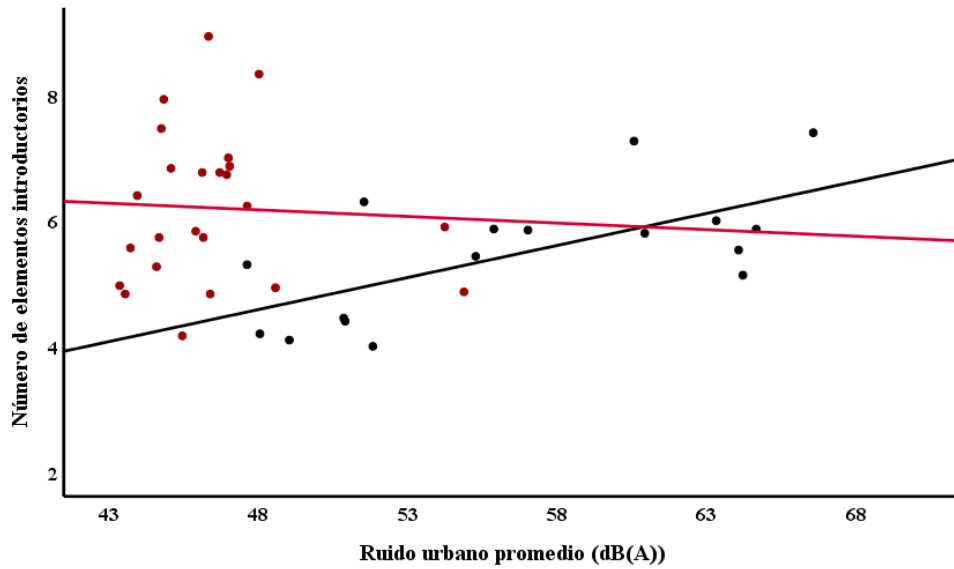


Figura 4. Relación entre el promedio del número de elementos introductorios del canto del mosquero cardenal y el nivel de ruido urbano promedio en sus territorios. Cada círculo representa un individuo, los círculos rojos representan a los individuos de PERM y los negros a aquellos de UNAM. Los mosqueros cardenal de UNAM que cantan en territorios más ruidosos emiten los cantos más largos, esta relación es menos intensa en PERM. PERM $R^2=0.002$; NAM $R^2=0.433$.

Tabla 4. Efectos del ruido urbano, luz artificial nocturna, número de vecinos y parque sobre la variación del promedio del número de elementos introductorios del canto del mosquero cardenal.

Modelo	B	EE	x²	p	Gl
<i>Intersección</i>	-0.445	2.106	0.045	0.833	1
PERM x Ruido urbano promedio	-0.052	0.071	0.524	0.469	1
UNAM x Ruido urbano promedio	0.113	0.037	9.222	0.002	1
Número de vecinos	-0.328	0.146	5.046	0.025	1
PERM	9.795	4.0349	5.893	0.015	1
UNAM	0				1
<i>Intersección</i>	1.492	1.967	0.575	0.448	1
PERM	1.697	0.485	12.201	0	1
UNAM	0				1
Ruido urbano promedio	0.077	0.034	5.055	0.025	1
Número de vecinos	-0.261	0.149	3.051	0.081	1
<i>Intersección</i>	-0.316	2.231	0.02	0.887	1
PERM	7.947	4.136	3.285	0.07	1
UNAM	0				1
PERM x Ruido urbano promedio	-0.021	0.074	0.079	0.779	1
UNAM x Ruido urbano promedio	0.102	0.039	6.794	0.009	1
<i>Intersección</i>	1.866	1.952	0.913	0.339	1
PERM x Ruido urbano promedio	0.093	0.042	4.866	0.027	1
UNAM x Ruido urbano promedio	0.064	0.034	3.473	0.062	1
<i>Intersección</i>	2.258	1.912	1.394	0.238	1
PERM x Ruido urbano promedio	0.096	0.04	5.467	0.019	1
UNAM x Ruido urbano promedio	0.064	0.033	3.64	0.056	1
Número de vecinos	-0.238	0.151	2.486	0.115	1

Variación en la frecuencia pico del canto

El modelo que explica la variación de la frecuencia pico del canto del mosquero cardenal incluye la interacción del nivel de ruido urbano promedio y nivel de luz nocturna promedio (AICC 558.216, $x^2=5.815$, $gl=1$, $p=0.016$; Tabla 5). Este modelo muestra que el nivel de luz nocturna promedio tiene una relación positiva con la frecuencia pico del canto del mosquero

cardenal dado un nivel de ruido urbano promedio ($B=1.021$, $EE=0.408$, $x^2=6.248$, $g.l.=1$, $p=0.012$; Fig. 5).

Tabla 5. Modelos que explican la variación de la frecuencia pico del canto del mosquero cardenal que incluyen los efectos del ruido urbano, luz nocturna, número de vecinos y parque.

Modelo	AICC	Δ AICC	W	x^2	p
Ruido urbano promedio*luz nocturna promedio	558.216	0	0.206967917	5.815	0.016
Luz nocturna promedio, ruido urbano promedio	558.683	0.467	0.163868421	7.811	0.02
Parque, parque*luz nocturna promedio	559.325	1.109	0.118873962	9.772	0.021
Parque, luz nocturna promedio	559.818	1.602	0.09290373	6.675	0.036
Número de vecinos, parque*luz nocturna promedio	559.936	1.72	0.087580975	6.557	0.038

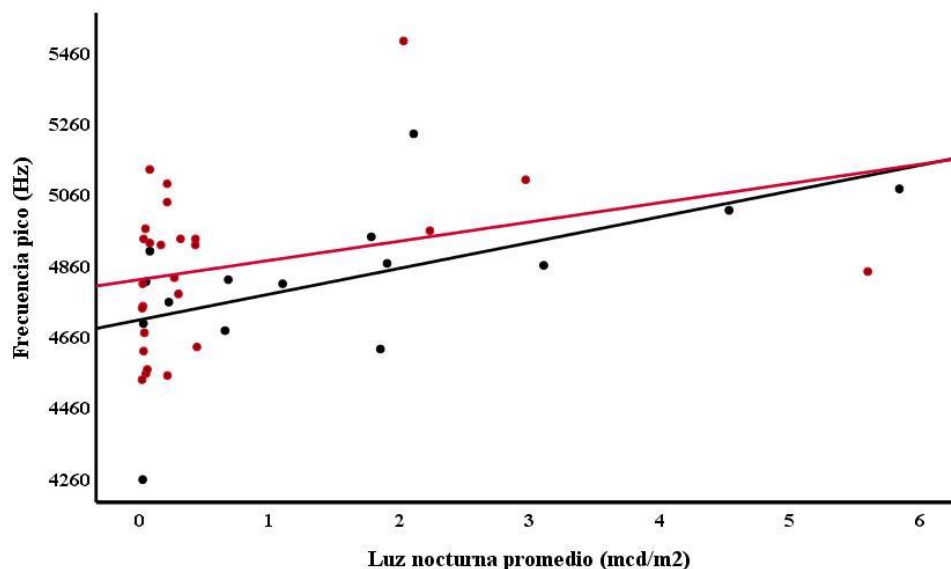


Figura 5. Relación entre la frecuencia pico del canto del mosquero cardenal y el nivel de luz nocturna promedio en sus territorios, esta relación está modulada por el nivel de ruido urbano promedio. Cada círculo representa a un individuo. Los círculos rojos representan a los cardenales que ocupan territorios con niveles de ruido bajos (43 – 53 dB (A)) y los círculos negros a aquellos que ocupan territorios con niveles de ruido urbano altos (53.1 - 67 dB (A)). La intensidad de la relación entre el tono del canto del mosquero cardenal y la luz nocturna en su territorio es más intensa para los mosqueros de territorios con ruido urbano bajo, respecto a aquellos con territorios con ruido urbano alto.

Se reporta el resto de los modelos construidos (Tabla 5) y los efectos de las variables ambientales sobre la variación de la frecuencia pico del canto del mosquero cardenal (Tabla 6).

Tabla 6. Efectos del ruido urbano, luz artificial nocturna, número de vecinos y parque sobre la variación del promedio de la frecuencia pico del canto del mosquero cardenal.

Modelo	B	EE	x²	P	GI
<i>Intersección</i>	4787.722	37.929	15933.625	0	1
Ruido urbano promedio x Luz nocturna promedio	1.021	0.408	6.248	0.012	1
<i>Intersección</i>	5081.247	232.8	476.401	0	1
Luz nocturna promedio	-5.895	4.606	1.637	0.201	1
Ruido urbano promedio	58.971	20.879	7.977	0.005	1
<i>Intersección</i>	4694.806	68.194	4739.553	0	1
PERM	127.185	80.245	2.512	0.113	1
UNAM	0				1
PERM x Luz nocturna promedio	14.455	33.925	0.182	0.67	1
UNAM x Luz nocturna promedio	94.451	28.96	10.637	0.001	1
<i>Intersección</i>	4752.727	62.373	5806.127	0	1
PERM	47.808	69.511	0.473	0.492	1
UNAM	0				1
Luz nocturna promedio	60.73	22.873	7.049	0.008	1
<i>Intersección</i>	4733.378	65.684	5193.051	0	1
Número de vecinos	26.975	27.611	0.954	0.329	1
PERM x Luz nocturna promedio	24.462	33.883	0.521	0.47	1
UNAM x Luz nocturna promedio	68.035	23.236	8.573	0.003	1

Discusión

Aunque se esperaba que, en niveles bajos de ruido urbano, la luz nocturna explica la variación en el número de elementos introductorios del canto del mosquero cardenal. No así, en niveles altos. Los resultados de este estudio señalan que existe una relación positiva entre el número de elementos introductorios del canto del mosquero cardenal y el ruido urbano de sus territorios, no así con la luz nocturna. Además, se observa que la existencia de dicha relación depende del parque.

En otras palabras, únicamente en la UNAM los territorios con niveles altos de ruido urbano estuvieron ocupados solo por los mosqueros cardenales que emitían los cantos con mayor número de elementos introductorios, es decir, los cantos más largos mientras que los territorios con niveles bajos e intermedios de ruido urbano fueron ocupados por aves que emitían cantos cortos.

Este resultado es consistente con la diferencia entre los hallazgos de Ríos-Chelén et al. (2013) y los de Nakamura (2017), pues este estudio confirma que la relación entre la longitud del canto y el ruido urbano depende del sitio de estudio.

Esta diferencia entre sitios puede deberse a que existan otros factores ambientales asociados a la urbanización que no han sido considerados hasta la fecha y que podrían estar influyendo en la producción del canto. Por ejemplo, el consumo de metales pesados a través de la dieta ha sido asociado con una reducción del número de tipos de cantos en el repertorio y con una reducción en la tasa de canto del carbonero común (*Parus major*) (Gorissen et al., 2005). También el consumo de estrógeno sintético, a través de la dieta, ha sido correlacionado con el aumento en la complejidad y longitud del canto del estornino europeo (*Sturnus vulgaris*) (Markman et al., 2008).

La relación del número de elementos introductorios y el ruido urbano no es explicada por mecanismos de corto plazo como la plasticidad vocal, puesto que se ha comprobado experimentalmente que esta especie no es capaz de variar esta característica de su canto en respuesta inmediata al nivel de ruido en su entorno (Ríos-Chelén et al., 2018) y es improbable que sea explicada por el mecanismo de aprendizaje durante la ontogenia, puesto que las aves de la familia Tyranidae estudiadas hasta la fecha, desarrollan su canto de forma innata (Liu et al., 2013; Touchton et al., 2014). Como Ríos-Chelén et al. (2013) ya lo habían discutido, puesto que el número de elementos introductorios del canto del mosquero cardenal es un componente importante en la comunicación intrasexual de la especie (Ríos-Chelén y Garcia-Macias, 2007), es probable que los machos que emiten los cantos más largos logren acceder y defender los sitios con mayor intensidad de ruido urbano, porque representan alguna ventaja como menor riesgo de depredación o menor competencia.

A diferencia de lo que Nakamura (2017) señaló, de este estudio se desprende que la luz nocturna no explica la variación del número de elementos introductorios del mosquero cardenal. Es posible que el rango de luz nocturna registrado en UNAM y PERM no sea suficiente para observar su efecto en los atributos temporales del canto o bien que estas características del canto del mosquero cardenal no sean sensibles a este contaminante o incluso que la naturaleza de la luz (tipo de lámpara, color e intensidad) entre parques sea distinta y que por ello se observen relaciones contrastantes pues hay autores que señalan que el color de la luz, así como su intensidad pueden determinar su efecto sobre la fisiología y conducta de los carboneros comunes y los herrerillos comunes (*Cyanistes caeruleus*) (de Jong et al., 2016; de Jong et al., 2017). Sin embargo, hay otros que describen que la intensidad de la luz no es determinante (Derégnaucourt et al., 2012).

Estos resultados muestran la relación entre la luz nocturna y la frecuencia pico del canto del mosquero cardenal. Esta relación no había sido observada previamente, de hecho, en el trabajo de Nakamura (2017) se señaló que ni la frecuencia mínima ni la frecuencia al 95% del canto del mosquero cardenal mostraron correlación con la luz nocturna en sus territorios. Tampoco Derégnaucourt et al. (2012) observaron un efecto de la exposición a luz artificial durante la noche en las características espectrales del canto del pinzón cebra.

El resultado del presente estudio es importante puesto que abre la posibilidad de que el cerebro de las aves suboscinas, específicamente la región que controla la producción del canto sea sensible a la intensidad de la luz a la que está expuesta el ave por la noche y que esta sensibilidad puede inducir variaciones estructurales en el canto. O bien la exposición a la luz durante la noche está induciendo cambios en el cerebro que no precisamente deberían estar relacionados con el control endócrino del canto, pues se ha observado que la luz artificial nocturna disminuye la densidad neuronal en diferentes regiones cerebrales (Moaraf et al., 2020).

Al parecer, los mosqueros cardenales son sensibles al nivel de luz nocturna promedio presente en sus territorios, si bien los niveles de luz nocturna registrados en PERM y UNAM son menores a los registrados por Dominoni et al. (2013) (23 mcd).

Kempenaers et al. (2010) sugieren que hay un umbral específico en el que la luz afecta a las aves y que este es diferente entre especies. Esto podría explicar que pese a la diferencia en el nivel de luz artificial nocturna que las aves experimentan, se observó una relación significativa.

Por otro lado y a diferencia de lo esperado, el ruido urbano no presenta una relación con la frecuencia pico del canto del mosquero cardenal aunque esta relación es muy común entre las aves oscinas (Slabbekoorn y Peet, 2003; Fernández-Juricic et al., 2005; Wood y Yezerican,

2006; Francis et al., 2010; Bermúdez-Cuamatzin et al., 2011; Ríos-Chelén et al., 2012; Job et al., 2016), e incluso existe evidencia correlativa de que sucede al menos en una especie de ave suboscina (Gentry et al., 2018). Es probable que esta relación no exista debido a que la frecuencia del canto de los mosqueros cardenales es relativamente alta y no es enmascarada por las frecuencias del ruido urbano como previamente Ríos-Chelén et al. (2013) lo habían señalado.

Estos resultados son consistentes con el planteamiento de Francis et al. (2010) de que las aves que presenten cantos más agudos serán menos susceptibles a experimentar el enmascaramiento de sus cantos. Del mismo modo que el papamoscas cenizo (*Myiarchus cinerascens*), el rango de frecuencia del canto del mosquero cardenal se encuentran por encima del rango de frecuencia del ruido urbano en sus territorios.

Es necesario realizar un estudio experimental donde el nivel de ruido urbano, luz nocturna y condición física de los individuos sea controlado para discriminar qué variable explica de mejor manera la variación del canto observada en los sitios de estudio. Si bien este estudio evaluó la relación entre la co-ocurrencia de dos contaminantes ambientales propios de zonas urbanizadas y la variación estructural del canto de un ave suboscina, aún resulta necesario abordar desde un enfoque experimental que identifique el papel de la percepción sensorial y las variaciones endocrinas que subyacen la conducta observada.

Conclusiones

Aunque la interacción del ruido urbano y la luz artificial nocturna no explicaron la variación de la longitud del canto del mosquero cardenal, se corroboró que los mosqueros cardenales que produjeron los cantos más largos, con mayor número de elementos introductorios, se encontraron en los sitios más ruidosos, pero que esto no fue igual en ambos sitios de estudio (PERM y UNAM). Esta diferencia entre sitios pudo ser el resultado del efecto sumatorio o interactivo de otros factores ambientales propios de cada parque que no fueron considerados en este estudio, como la acumulación de metales pesados o contaminantes químicos en los insectos consumidos por el mosquero cardenal, incluso la diferencia en la luz artificial a la que están expuestos dada por el tipo de lámparas, el color o la intensidad de la luz que estas emiten. Por otro lado, los mosqueros cardenales que emitían los cantos más agudos estuvieron asociados a los sitios más iluminados, esta asociación estuvo modulada por la intensidad del ruido urbano. Este patrón puede ser el resultado de la influencia de la luz nocturna sobre las regiones cerebrales de las aves, relacionadas con el control vocal, sin embargo, los alcances de este estudio no permiten realizar esa aseveración.

Perspectivas

El siguiente paso en el estudio de la variación del canto de las aves suboscinas en respuesta a las condiciones ambientales de ambientes urbanos, es una aproximación experimental.

Las investigaciones futuras deberán simular fielmente el color e intensidad de la luz nocturna y la naturaleza e intensidad del ruido urbano a los que las aves están expuestas en los parques urbanos. Además, deberán estar orientadas al entendimiento de las causas próximas de esta variación de la conducta vocal.

En este sentido, deberá ponerse especial atención al papel de la exposición a luz artificial nocturna y su consecuente disminución en los niveles de melatonina, así como en la relación de los niveles de esta hormona y la función o volumen de las regiones cerebrales involucradas en la producción del canto. Asimismo, deberá evaluarse si los niveles de melatonina se correlacionan con la estructura del canto de estas aves.

Por último, se recomienda que se evalúe la naturaleza de los contaminantes químicos a los que estas aves están expuestas a través de la dieta, así como su posible papel en la función de las regiones cerebrales involucradas en la producción del canto.

Literatura citada

- Amador, A., Goller, F., & Mindlin, G. B. (2008). Frequency modulation during song in a suboscine does not require vocal muscles. *Journal of Neurophysiology*, *99*, 2383-2389.
- Barber, J. R., Crooks, K. R., & Fristrup, K. M. (2009). The cost of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology & Evolution*, *25*(3), 180-189.
- Barker, N. K. (2008). Bird song structure and transmission in the neotropics: Trends, methods and future directions. *Ornitología neotropical*, *19*, 175-199.
- Bentley, G. E., & Ball, G. F. (2000). Photoperiod-dependent and-independent regulation of melatonin receptors in the forebrain of songbirds. *Journal of Neuroendocrinology*, *12*(8), 745-752.
- Bermúdez-Cuamatzin, E., Ríos-Chelén, A. A., & García, C. M. (2011). Experimental evidence for real-time song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird. *Biology Letters*, *8*(2), 320.
- Boncoraglio, G., & Saino, N. (2007). Habitat structure and the evolution of birds song: A meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology*, *21*(1), 134-142.
- 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., & Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behavior*, *35*, 151-209.
- Brumm, H., & Slater, P. J. (2006). Ambient noise, motor fatigue, and serial redundancy in chaffinch song. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *60*(4), 475-481.

- Brumm, H., & Todt, D. (2002). Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. *Animal behavior*, 63(5), 891-897.
- Cassone, V. M., Bartell, P. A., Earnest, B. J., & Kumar, V. (2008). Duration of melatonin regulates seasonal changes in song control nuclei of the House Sparrow, *Passer domesticus*: independence from gonads and circadian entrainment. *Journal of Biological Rhythms*, 23(1), 49-58.
- Da Silva, A., Samplonius, J. M., Schlicht, E., Valcu, M., & Kempenaers, B. (2014). Artificial night lighting rather than traffic noise affects the daily timing of dawn and dusk singing in common European songbirds. *Behavioral Ecology*, 25(5), 1037-1047.
- Dawson, A., King, V. M., Bentley, G. E., & Ball, G. F. (2001). Photoperiodic control of seasonality in birds. *Journal of biological rhythms*, 16(4), 365-380.
- de Jong, M., Jeninga, L., Ouyang, J. Q., van Oers, K., Spoloestra, K., & Visser, M. E. (2016). Dose-dependent responses of avian daily rhythms to artificial light at night. *Physiology & Behavior*, 155, 172-179.
- De Lima, J. L., Soares, F. A., Remedios, A., Thom, G., Wirthlin, M., Aleixo, A., . . . Schneider, P. N. (2015). A putative RA-like region in the brain of the Scale-backed Antbird, *Willisornis poecilinotus* (Furnariidae, Suboscines, Passeriformes, Thamnophilidae). *Genetics and Molecular Biology*, 38(3), 249-254.
- Derégnaucourt, S., Saar, S., & Gahr, M. (2012). Melatonin affects the temporal pattern of vocal signatures in birds. *Journal of Pineal Research*, 53(3), 245-258.
- Dominoni, D. M. (2015). The effects of light pollution on biological rhythms of birds: An integrated, mechanistic perspective. *Journal of Ornithology*, 156(1), 409-418.

- Dominoni, D. M., Carmona-Wagner, E. O., Hofman, M., Kranstauber, B., & Partecke, J. (2014). Individual-based measurements of light intensity provide new insights into the effects of artificial light at night on daily rhythms of urban-dwelling songbirds. *Journal of Animal Ecology*, 83, 681-692.
- Dominoni, D. M., Goymann, W., Helm, B., & Partecke, J. (2013). Urban-like night illumination reduces melatonin release in European blackbirds (*Turdus merula*): Implications of city life for biological time-keeping of songbirds. *Frontiers in zoology*, 10(60).
- Dooling, R. J., & Blumenrath, S. H. (2013). Avian sound perception in noise. En *Animal communication and noise* (págs. 229-2250). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Dooling, R. J., & Popper, A. N. (2007). *The effects of highay noise in birds*. Sacramento, CA: The California Department of Transportation Division of Environmental.
- Dorado-Correa, A. M., Rodríguez-Rocha, M., & Brumm, H. (2016). Anthropogenic noise, but no artificial light levels predicts song behaviour in an equatorial bird. *Royal Society Open Science*, 3(7), 160231.
- Farries, M. A. (2001). The oscine song system considered in the context of the avian brain: Lessons learned from the comparative neurobiology. *Brain, behavior and evolution*, 58(2), 80-100.
- Foote , J. R., Palazzi, E., & Mennill, D. J. (2013). Song of the Eastern Phoebe, a suboscine songbird are individually distinctive but do not vary geographically. *Bioacoustics*, 22(2), 137-151.
- Francis, C. D., Ortega, C. P., & Cruz, A. (2010). Vocal frequency change reflects different responses to anthropogenic noise in two suboscine tyrant flycatchers. *Proceedings of the Royal Society B*, 278(1714), 2025-2031.

- Fuller, R. A., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2007). Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology letters*, 3(4), 368-370.
- Fuxjager, M. J., Heston, J. B., & Schlinger, B. A. (2014). Peripheral androgen action helps modulate vocal production in a suboscine passerine. *The Auk*, 131(3), 327-334.
- Gahr, M. (2000). Neural song control system of hummingbirds: Comparison to swifts, vocal learning (songbirds) and nonlearning (suboscines) passerines, and vocal learning (budgerigars) and nonlearning (ove, owl, gull, quail, chicken), nonpasserines. *Journal of Comparative Neurology*, 426(2), 182-196.
- Gaston, J. K., Visser, M. E., & Hölker, F. (2015). The biological impact of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 370(1667), 20140133.
- Gentry , K. E., McKenna, M. F., & Luther, D. A. (2018). Evidence of suboscine song plasticity in response to traffic fluctuations and temporary road closures. *Bioacoustics*, 27(2), 165-181.
- Gil, D., & Brumm, H. (2014). Acoustic communication in the urban environment: patterns, mechanisms and potential consequences of avian song adjustments. En D. Gil, & H. Brumm (Edits.), *Avian urban ecology: Behavioural and physiological adaptations* (págs. 69-83). Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Gorissen, L., Snoejis, T., Van Duyse, E., & Eens, M. (2005). Heavy metal pollution affects dawn singing behavior in a small passerine bird. *Oecologia*, 145(3), 504-509.
- Halfwerk, W., & Slabberkoorn, H. (2015). Pollution going multimodal: the complex impact of the human-altered sensory environment on animal perception and performance. *Biology letters*, 11(4), 20141051.

- Hanna, D., Blouin-Demers, G., Wilson, D. R., & Mennill, D. J. (2011). Anthropogenic noise affects song structure in Red-winged Blackbirds (*Agelaius phoeniceus*). *Journal of Experimental Biology*, *214*(21), 3549-3556.
- Isaksson, C. (2018). Impact of Urbanization on Birds. En T. D, *Bird Species. Fascinating Life Species* (págs. 235-357). Springer, Cham.
- Job, J. R., Kohler, S. L., & Gill, S. A. (2016). Song adjustments by and open habitat bird to anthropogenic noise, urban structure, and vegetation. *Behavioral Ecology*, *27*(6), 1734-1744.
- Kempenaers, B., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E., & Valcu, M. (2010). Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology*, *20*(19), 1735-1739.
- Liu, W.-c., Wada, K., Jarvis, E. D., & Nottebohm, F. (2013). Rudimentary substrates for vocal learning in a suboscine. *Nature communications*, *4*, 2082.
- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *2*(4), 191-198.
- Lovell, S. F., & Lein, M. R. (2013). Geographical variation in songs of a suboscine passerine, the Alder Flycatcher (*Empidonax alnorum*). *The Wilson Journal of Ornithology*, *125*(1), 15-23.
- Luther, D., & Baptista, L. (2010). Urban noise and cultural evolution of bird songs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *277*(1680), 469-473.
- MacGregor-Fors, I., Blanco-García, A., Chávez-Zichinelli, C. A., Maya-Eisararrás, E., Mirón, L., Morales-Pérez, L., . . . Shondube, J. E. (2011). Relación entre la presencia de luz

- artificial nocturna y la actividad del mosquero cardenal (*Pyrocephalus rubinus*). *El Canto del Cenzontle*, 2(1), 64-71.
- Markman, S., Leitner, S., Catchpole, C., Barnsley, S., Müller, C. T., Pascoe, D., & Buchanan, K. L. (2008). Pollutants increase song complexity and the volume of the brain area HVC in a songbird. *PloS one*, 3(2), e1674.
- McMullen, H., Schmidt, R., & Kunc, H. (2014). Anthropogenic noise affects vocal interactions. *Behavioural Processes*, 103, 125-128.
- Moaraf, S., Vistoropsky, Y., Pozner, T., Heiblum, R., Okuliarová, M., Zeman, M., & Barnea, A. (2020). Artificial light at night affects brain plasticity and melatonin in birds. *Neuroscience Letters*, 716, 134639.
- Nakamura, M. T. (2017). Tesis. *Efectos de la luz nocturna y el ruido urbano en el canto del cardenalito (Pyrocephalus rubinus) en San Diego Metepec, Tlaxcala, México*. Tlaxcala, México.
- Nordt, A., & Klenke, R. (2013). Sleepless in town – drivers of the temporal shift in dawn song in urban european blackbirds. *Plos ONE*, 8(8), e71476.
- Päckert, M. (2018). Song: The learned language of three major bird clades. En T. D, *Bird Species. Fascinating life sciences* (págs. 75-94). Springer, Cham.
- Ríos-Chelén, A. A. (2009). Bird song: The interplay between urban noise and sexual selection. *Oecologia Brasiliensis*, 13(1), 153-164.
- Ríos-Chelén, A. A., & Garcia Macias, C. (2007). Responses of a sub-oscine bird during playback: Effects of different song variants and breeding period. *Behavioural Processes*, 74, 319-325.

- Ríos-Chelén, A. A., & Macías-García, C. A. (2004). Flight display song of the vermilion flycatcher. *The Wilson Journal of Ornithology*, *116*(4), 360-362.
- Ríos-Chelén, A. A., Cuatianquiz-Lima, C., Bautista, A., & Martínez-Gómez, M. (2018). No reliable evidence for immediate noise-induced song flexibility in a suboscine. *Urban Ecosystem*, *21*(1), 15-25.
- Ríos-Chelén, A. A., García-Macías, C., & Riebel, K. (2005). Variation in the song of a suboscine, the Vermilion Flycatcher. *Behaviour*, *142*(8), 1115-1132.
- Ríos-Chelén, A. A., Graves, J. A., Torres, R., Serrano.Pinto, M., D'alba, L., & García-Macías, C. (2008). Intra-specific brood parasitism revealed by DNA micro-satellite analyses in a sub-oscine bird, the vermilion flycatcher. *Revista chilena de historia natural*, *81*(1), 21-31.
- Ríos-Chelén, A. A., Quirós-Guerrero, E., Gil, D., & García, C. M. (2013). Dealing with urban noise: vermilion flycatchers sing longer songs in noisier territories. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *67*(1), 145-152.
- Ríos-Chelén, A. A., Salaberria, C., Barbosa, I., Macías, G. C., & Gil, D. (2012). The learning advantage: Bird species that learn their song show a tighter adjustment of song to noisy environments than those that do not learn. *Journal of Evolutionary Biology*, *25*(11), 2171-2180.
- Robertson, B. A., Fontaine, J. J., & Loomis, E. (2009). Seasonal patterns of song structure variation in a suboscine passerine. *The Wilson Journal of Ornithology*, *121*(4), 815-818.
- Saldanha, C. J., Schultz, J. D., London, S. E., & Schlinger, B. A. (2000). Telencephalic aromatase but not a song circuit in a sub-oscine passerine, the Golden Collared Manakin (*Manacus vitellinus*). *Brain, Behavior and Evolution*, *56*(1), 29-37.

- Seddon, N. (2005). Ecological adaptation and species recognition drives vocal evolution in neotropical suboscine birds. *Evolution*, 59(1), 200-215.
- Slabbekoorn, H., & Peet, M. (2003). Birds sing at higher pitch in urban noise. *Nature*, 424(6946), 267-267.
- Smith, G. T., Brenowitz, E. A., Beecher, M. D., & Wingfield, J. C. (1997). Seasonal changes in testosterone, neural attributes of song control nuclei, and song structure in wild songbirds. *Journal of Neuroscience*, 17(15), 6001-6010.
- Swaddle, J. P., Francis, C. D., Barber, J. R., Cooper, C. B., Kyba, C. C., Dominoni, D. M., & Luther, D. (2015). A framework to assess evolutionary responses to anthropogenic light and sound. *Trends in ecology & evolution*, 30(9), 550-560.
- Taylor, W. K., & Hanson, H. (1970). Observations on the breeding biology of the Vermilion Flycatcher in Arizona. *The Wilson Bulletin*, 315-319.
- Tennessen, J. B., Parks, S. E., & Langkilde, T. L. (2016). Anthropogenic noise and physiological stress in wildlife. En *The Effects of Noise on Aquatic Life II* (págs. 1145-1148). New York, NY: Springer.
- Touchton, J., Seddon, N., & Tobias, J. (2014). Captive rearing experiments confirm song development without learning in a tracheophone suboscine bird. *PlosOne*, 9(4), e95746.
- Wang, G., Harpole, C., Trivedi, A., & Cassone, V. (2012). Circadian regulation of bird song, call, and locomotor behavior by pineal melatonin in Zebra Finch. *Journal of Biological Rhythms*, 27(2), 145-155.
- Warren, P. S., Katti, M., Ermann, M., & Brazel, A. (2006). Urban bioacoustics: it's not just noise. *Animal Behaviour*, 71(3), 491-502.

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