



**BUAP**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**Facultad de Ciencias Biológicas**



**Ajustes en la estructura del canto del  
Cocuile (*Toxostoma curvirostre*) en  
tres niveles de urbanización en el  
centro de México**

**Tesis para obtener el título de  
Licenciado en Biología**

**Presenta:  
Christian Daniel Morán Titla**

**Director de tesis:  
Dr. Juan Héctor Carcía Chávez  
Coodirectora:  
Dra. Eira Bermúdez Cuamatzin**



**Abril 2018**

---

Ajustes en la estructura del canto de cortejo del  
cocuite (*Toxostoma curvirostre*) en tres niveles de  
urbanización

Christian Daniel Morán Titla

# Índice general

Secciones	Página
Lista de figuras	II
Lista de tablas	IV
Resumen	1
Introducción	1
Métodos	4
Zona de estudio . . . . .	4
Toxostoma curvirostre (Swainson, 1827) . . . . .	4
Grabación de cantos y medición de niveles de ruido . . . . .	6
Nivel de ruido en dBA . . . . .	7
Frecuencias (kHz) del canto . . . . .	7
Incidencia del canto en presencia de ruido . . . . .	7
Duración y tasa de canto . . . . .	8
Complejidad de canto . . . . .	8
Diferenciación del repertorio silábico . . . . .	9

<b>Resultados</b>	<b>9</b>
Ruido (Nivel de presión sonora) . . . . .	9
Frecuencias (kHz) del canto . . . . .	10
Incidencia del canto en presencia de ruido . . . . .	10
Duración y tasa de canto . . . . .	10
Complejidad de canto y repertorio silábico compartido . . . . .	10
<b>Discusión</b>	<b>18</b>
<b>Referencias</b>	<b>21</b>
<b>Códigos de R</b>	<b>26</b>
Funciones . . . . .	26
Bases de datos . . . . .	26
Análisis estadístico . . . . .	26
Ruido . . . . .	27
Frecuencias y tasa de canto . . . . .	27
Prueba post-hoc . . . . .	28
Duración y complejidad del . . . . .	28
Incidencia del canto . . . . .	28
Repertorio silábico . . . . .	29
Gráficas . . . . .	29
Mapa . . . . .	31

# Índice de figuras

Figura1	Espectrograma . . . . .	9
Figura2	dba por hábitat . . . . .	11
Figura3	Mapa de ruido . . . . .	12
Figura4	kHz y ruido . . . . .	13
Figura5	kHz por hábitat . . . . .	14
Figura6	Incidencia del canto . . . . .	15
Figura7	Dendrograma de sílabas compartidas . . . . .	16
Figura8	Disimilitud de hábitat . . . . .	17

# Índice de cuadros

1	Características . . . . .	5
2	ANOVA de ruido por hábitat . . . . .	11
3	Regresión lineal simple de kHz y dBA . . . . .	12
4	ANOVA de kHz por hábitat . . . . .	13
5	MLG de incidencia del canto . . . . .	15
6	perMANOVA de repertorio silábico . . . . .	15

---

## Resumen

Aves paseriformes muestran diferencias en las características de sus cantos entre poblaciones rurales y urbanas, o en gradientes de urbanización, lo cual podría estar asociado a evitar el enmascaramiento de sus cantos con los elevados niveles de ruido antropogénico de zonas urbanizadas. El “cocuite” (*Toxostoma curvirostre*, Swainson) es un ave paseriforme de la familia Mimidae, grupo que se caracteriza por su gran complejidad vocal que se evidencia en grandes repertorios de canto. Esta especie se puede considerar exitosa que es un habitante que se ha establecido ampliamente en ambientes con diferentes grados de urbanización y con ello distintos niveles de ruido. En este estudio se proporcionó la primera descripción del canto de *T. curvirostre* para poblaciones que habitan en tres niveles de urbanización de la ciudad de Puebla y sus alrededores. El objetivo de este trabajo es investigar si los machos de *T. curvirostre* muestran diferencias en las características espectrales, temporales y de complejidad de su canto en los tres niveles de urbanización, lo que podría relacionarse con sus diferentes intensidades de ruido antropogénico. Los atributos de canto medidos fueron: frecuencias (mínima, pico, máxima y ancho de banda), duración, tasa, incidencia, complejidad y repertorio silábico. Los resultados muestran que la frecuencia máxima y el ancho de banda dependen positivamente del nivel de ruido y difieren entre hábitat. La incidencia del canto mostró una relación positiva con la presencia de ruido en el hábitat suburbano y urbano. Esta especie presentó diferenciación silábica individual, donde hay sílabas diferenciadas por el hábitat y sílabas compartidas entre algunos individuos. Las habilidades de modulación vocal de esta especie podrían estar influyendo en su capacidad para establecerse en sitios contrastantes de urbanización.

---

## Introducción

La urbanización ha sido una de las transformaciones humanas más dramática e irreversible sobre el ecosistema natural (McKinney, 2002). Las áreas urbanas cubren al menos el 2.7% de la superficie del mundo (Center for International Earth Science Information Network, 2004). Si el incremento de las áreas urbanas continúa con la misma tendencia correlacionada al incremento poblacional, para el 2030 se estima que el incremento de áreas urbanas se triplicará (Seto et al., 2012).

Consecuencias importantes son la modificación de la estructura y funcionamiento de ecosistemas, afectando a la flora y fauna au-

tóctona debido a cambios drásticos de uso del suelo (Pisanty et al., 2009) y generando así nuevas condiciones ambientales para los organismos que habitan en los centros urbanos (Er et al., 2005).

Al mismo tiempo, los ambientes urbanos se caracterizan por ser mosaicos heterogéneos de áreas residenciales, comerciales e industriales (Pickett et al., 1997; Marzluff et al., 2001) con infraestructura destinada a los medios de transporte (McIntyre et al., 2000). Los elementos estructurales que mejor definen a las ciudades son las edificaciones rodeadas de superficies impermeables y áreas verdes. Estos últimos forman islas ecológicas con una complejidad importante (MacGregor-Fors et al., 2011), las cuales

amortiguan la intensidad de contaminación acústica (Sorensen et al., 1998; Gregg et al., 2003).

Dentro de los estudios de ecología urbana se reconocen dos enfoques principales, en el primero se estudian procesos ecológicos en hábitats nativos inmersos dentro de la trama urbana para cuantificar y describir la biodiversidad en los fragmentos (Grimm et al. 2000). En el segundo enfoque, se analizan los procesos ecológicos en gradientes de urbanización: desde sitios altamente urbanizados hasta zonas suburbanas y rurales (McDonnell & Pickett, 1990; Porter et al., 2001).

Los componentes de un medio urbano repercuten en el comportamiento de los diferentes grupos de aves que se pueden encontrar en este ambiente (Roberts & Normant, 1999). Un componente común es el ruido como una forma de contaminación, el cual está presente en las zonas urbanas y afecta a aquellos integrantes de taxa que se comunican a través de señales acústicas, tal es el caso de las aves que se comunican por el canto y por llamados (Gil & Brumm, 2014). El ruido es un factor que interfiere el sonido de un emisor y la capacidad de algún receptor para detectarlo, recibirlo o discriminarlo como una señal acústica (Brumm & Slabbekoorn, 2005).

Las señales acústicas son funcionales en la comunicación a larga distancia realizada con cortos espacios de tiempo (Krebs & Davies, 1993); en este caso, si la señal del emisor modifica el comportamiento del receptor es posible inferir que ellos se han comunicado (Slater, 1983c, citado por Catchpole & Slater, 2008). El canto puede operar en ambientes con poca luz, de manera veloz y transitoria, y en algunos grupos de aves el

canto es una señal importante en el funcionamiento del apareamiento y territorialidad (Catchpole & Slater, 2008).

Las aves realizan diversos ajustes relacionados con las características del canto y su mecanismo de producción en función del ruido ambiental (Brumm & Slabbekoorn, 2005) ya que estas características cumplen la función de optimizar la señal en la comunicación (Marler & Slabbekoorn, 2004). Las características del canto, modificadas por el hábitat y por presencia de ruido, más estudiadas han sido la frecuencia (Hz), duración, tasa, complejidad (Catchpole & Slater, 2008) y presencia de dialectos (Potvin et al., 2013).

La frecuencia del canto determina la distinción entre sonidos agudos y graves, en el caso de las aves este rango usualmente es de 0.5 kHz a 10 kHz (Marler & Slabbekoorn, 2004). La duración y tasa del canto determinan la probabilidad de detectar un sonido en el ambiente (Bermúdez-Cuamatzin et al., 2011; Francis et al., 2011), en donde las hembras han mostrado preferencia por altas tasas de canto (Alatalo et al., 1990a). La complejidad del canto es la relación del repertorio del ave y el número de elementos contenidos en su canto (Ballentine et al., 2003) y puede verse disminuida ante la presencia de ruido (Brumm & Slater, 2006), en donde las hembras han mostrado preferencia por cantos o sílabas específicas (Leitner et al., 2006).

Por otro lado la diversidad en el comportamiento vocal a través del canto de aves ofrece información importante en la ecología y evolución de rasgos de complejidad cultural (Catchpole & Slater, 2008; Sosa-López & Mennill, 2014). La divergencia de cantos aprendidos en un grupo de organismos pue-

de surgir por deriva cultural, deriva génica, selección cultural, selección sexual o a través de la selección de cantos como una señal social y sexual (Podós & Nowicki, 2004; González et al., 2011), de modo que los patrones de variación geográfica en las señales acústicas de las aves tienen una función directa en la elección de pareja y defensa de territorio (Wilczynski & Ryan 1999; Bradbury & Vehrencamp, 2011), en donde se ha demostrado como hay una preferencia de dialectos vocales por las hembras (Baker et al., 1987). De hecho los hábitats urbanos influyen en la selección de tipos de sílabas particulaesque convergen en dialectos a lo largo del área (Potvin et al., 2013).

Algunos cambios descritos en las características del canto han sido: elevar la frecuencia mínima, la frecuencia pico (Slabbekoorn & Peet, 2003; Slabbekoorn & Boer-Visser, 2006; Bermúdez-Cuamatzin et al., 2011; Hu & Cardoso, 2009) y máxima (Mendes et al., 2011), hacer vocalizaciones más largas (Bermúdez-Cuamatzin et al., 2011), más cortas (Francis et al., 2011), con más elementos (Ríos-Chelén et al., 2013), disminuir la tasa silábica (Potvin et al., 2011) o disminuir la complejidad del canto (Brumm & Slater, 2006). También el repertorio de canto puede variar según el hábitat en el que se encuentren las aves generando dialectos (González & Ornelas, 2005; González et al., 2011; Potvin et al., 2013; Sosa-López et al., 2013; Sosa-López et al., 2013; Sosa-López & Menill, 2014; Sosa-López & Menill, 2014; Sosa-López & Menill, 2014; González & Ornelas, 2014).

La presencia de *T. curvirostre* en distintos niveles de urbanización (MacGregor-Fors, 2008; Ortega-Álvarez & MacGregor-Fors, 2009) y con ello en distintos niveles de ruido (González-Oreja, 2017), conforma un modelo que puede generar un pano-

rama sobre las posibles afectaciones de las señales acústicas en un organismo dependiente de estas señales para su adecuación, además de ser una especie abundante en una amplia gamma de hábitats e interesante por emitir cantos complejos (Cornell Lab of Ornithology, 2016; Pineda Maldonado et al., 2009).

El objetivo de mi trabajo es investigar si los machos de *T. curvirostre* muestran diferencias en las características espectrales, temporales y de complejidad de su canto que puedan estar asociadas a las distintas intensidades de ruido antropogénico presentes en tres niveles de urbanización, para responder a, ¿Qué ajustes realiza *Toxostoma curvirostre* en la estructura de su canto en tres niveles de urbanización con diferentes niveles de ruido? Según estudios que han evaluado los cambios de los parámetros (espectrales, temporales, complejidad) del canto en aves en función del hábitat y nivel de ruido, espero que: la frecuencia mínima y pico sean elevadas, la frecuencia máxima no se vea afectada y el ancho de banda se reduzca; la tasa y duración del canto se reduzcan o incrementen; la complejidad del canto se reduzca. Por otro lado espero que el repertorio silábico sea similar entre individuos sin importar el hábitat. Los sitios de interés son: 1) el agro- hábitat (agroecosistema) de la comunidad de San Antonio Coronango del municipio de Coronango, Puebla (zona rural), 2) ; el pueblo de San Francisco Ocotlán, Coronango, Puebla (zona suburbana) y 3) la ciudad del Estado de Puebla (zona urbana). La contaminación acústica es un componente de las zonas urbanas a la que se le ha dedicado poca importancia en la influencia del comportamiento de la fauna local, por lo que este estudio refleja un escenario de dicho sistema.

## Métodos

### Zona de estudio

La zona urbana corresponde a la ciudad de Puebla, siendo la cuarta ciudad más extensa y habitada en el país. Es un ambiente urbano de interés ecológico, pues se encuentra en constante expansión (SEDESOL, 2012), que ha crecido durante la década de los 90 en un 50% (Ayuntamiento de Puebla, 1991). La ciudad de Puebla tiene una extensión de 524.31 km<sup>2</sup>, con una población de 1,539,819 habitantes, localizada en el Valle Puebla-Tlaxcala (9°02'29" N, 98°12'22" O) a una altitud de 2200 metros. Las principales fuentes de ruido en la ciudad de Puebla se componen por tráfico vehicular intenso, tráfico aéreo, construcción de infraestructura, actividad industrial, así como también el ruido debido a las actividades recreativas de los habitantes de la ciudad.

La zona suburbana, se encuentra al noroeste de la ciudad de Puebla y corresponde a la comunidad de San Francisco Ocotlán en el municipio de Coronango, localizado también en el Valle Puebla-Tlaxcala (19°07'55" N, 98°17'07" O), con una población de 11,636 habitantes. Las principales fuentes de ruido que se pueden distinguir son tráfico vehicular menor al de las ciudades, biofonías (sonido producido por fauna) de ganado, música a alto volumen proveniente de los hogares de los pobladores, sonido producido por anuncios de comercios y uso de artículos pirotécnicos.

La zona rural es el agro-hábitat situado entre las localidades de Cuanalá del municipio de Juan C. Bonilla y San Antonio del municipio de Coronango (19°07'31" N 98°19'37" O). Las fuentes de ruido que pueden ser percibidos en este sitio es el peri-

foneo de los pueblos cercanos, maquinaria agrícola inusual y biofonías.

El sitio suburbano está separado del urbano por 8.11 km, el urbano del rural por 11.9 km y el rural del suburbano por 3.88 km. El territorio está dominado por un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura promedio es de 16 a 18 C, con precipitación de 800 a 1000 mm anuales (INEGI, 2005; SEDESOL, 2013).

### *Toxostoma curvirostre* (Swainson, 1827)

El "cocuite" es un ave paseriforme de la familia Mimidae, grupo que se caracteriza por su gran complejidad vocal que se evidencia en grandes repertorios silábicos (Kroodsma & Parker, 1977, citados por Marler & Slabbekoorn, 2005). Esta especie se encuentra distribuida en todo México como residente reproductivo. Su dieta es omnívora (MacGegor-Fors, 2010). En hábitats naturales se encuentra en bosques, vegetación abierta y zonas de cultivo, mientras que en zonas urbanas se encuentra en áreas verdes, áreas residenciales y áreas comerciales (MacGregor-Fors, 2005; National Geographic, 2006; González-Oreja et al., 2007; MacGregor-Fors, 2008; MacGregor-Fors, 2008; Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors, 2009; González-Oreja et al., 2010; Dorantes, 2015). La temporada reproductiva va de marzo a abril (Baicich y Harrison, 1997).

Se distingue por su habilidad para imitar el canto de otras aves (Pineda Maldonado et al., 2009). Sus llamados distintivos son "cuit-cuit" o "whit-wheet" (Peterson & Chalif, 1997; National Geographic, 2006; Dunn & Alderfer, 2011), los cuales son un doble silbido usado por ambos sexos (Cornell Lab of Ornithology). Su canto es largo y elabo-

**Cuadro 1:** Características del sitio donde se encontró cada individuo de *Toxostoma curvirostre*, considerados en este estudio, en la ciudad de Puebla y sus alrededores.

Num	H	Hora	Altitud	UTM-E	UTM-N	Dis	Fecha	C	R	Percha	Con
1	R	9:02	2194	571122	2113691	8	24/02/16	31	57	Árbol	DSV
2	R	9:39	2204	571115	2113825	12	24/02/16	10	37	Árbol	DV
3	R	10:15	2195	571004	2114318	8	24/02/16	6	50	Árbol	DV
4	R	7:43	2205	570605	2115020	7	08/03/16	16	42	Árbol	N
5	R	7:15	2190	571619	2114151	19	11/03/16	25	51	Árbol	DSV
6	R	6:57	2192	572863	2114589	19	12/03/16	17	44	Casa	DSV
7	R	7:19	2192	572093	2114859	18	12/03/16	8	27	Árbol	DSV
8	R	10:22	2208	570535	2114969	26	12/03/16	13	46	Árbol	DV
9	R	7:22	2193	571070	2115246	29	13/03/16	3	27	Árbol	DV
10	R	7:42	2219	570847	2115060	27	13/03/16	11	32	Árbol	DSV
11	S	10:42	2195	573666	2114731	7	04/02/16	11	78	Árbol	DSV
12	S	9:25	2233	575013	2117051	8	11/02/16	17	49	Árbol	N
13	S	10:00	2212	575925	2115394	3	11/02/16	14	36	Casa	DSV
14	S	10:20	2207	575954	2115356	12	11/02/16	7	32	Árbol	DSV
15	S	11:35	2207	575306	2114597	26	11/02/16	10	43	Poste	DSV
16	S	10:30	2194	575678	2114397	6	16/02/16	37	49	Árbol	N
17	S	11:00	2208	575804	2114625	11	16/02/16	15	23	Árbol	DSV
18	S	11:36	2209	575347	2115439	19	16/02/16	26	44	Árbol	DV
19	S	6:31	2202	575726	2114605	20	06/03/16	13	32	Casa	DSV
20	S	6:26	2182	574981	2115900	11	12/03/16	15	43	Árbol	DSV
21	U	8:20	2121	582407	2103816	7	07/02/16	9	39	Poste	DSV
22	U	10:41	2146	583656	2101536	15	17/02/16	15	52	Edificio	N
23	U	7:12	2158	581759	2107408	4	25/02/16	9	37	Arbusto	DSV
24	U	11:22	2116	583966	2101261	13	25/02/16	13	25	Árbol	DSV
25	U	9:19	2173	586370	2103189	6	06/03/16	13	38	Casa	DSV
26	U	11:09	2123	584000	2101504	12	06/03/16	17	51	Árbol	DSV
27	U	7:50	2194	586836	2106574	18	16/03/16	25	45	Casa	DV
28	U	8:52	2227	590590	2107454	5	16/03/16	18	24	Árbol	DSV
29	U	9:53	2127	583984	2101551	4	23/03/16	7	48	Poste	DSV
30	U	11:39	2179	586734	2106801	18	23/03/16	11	33	Casa	DV

Num = Individuo

H = Hábitat (R = rural, S = suburbano, U = urbano)

Dis = Distancia al observador en metros

C = Número de cantos

R = Repertorio silábico

Con = Condición ambiental (DSV = Despejado sin viento, DV = Despejado con viento, N = Nublado)

rado que consiste en gorjeos y trinos graves, rara vez repite frases (National Geographic, 2006; Dunn & Alderfer, 2011), ya que no tiene un patrón de notas específicas que esté definido (Cornell Lab of Ornithology, 2016). Es posible que su repertorio de canto sea tan complejo como el de *Toxostoma rufum* L., *Toxostoma redivivum* Gambel, *Dumetella carolinensis* L. y *Mimus polyglottos* L., debido a que pertenece a este grupo de especies que cuentan con grandes repertorios individuales de canto, siendo los machos quienes los ejecutan (Wildenthal, 1965; Boughey & Thompson, 1975; Sasahara et al., 2012).

La actividad de canto en zonas templadas en los individuos estudiados comienza en los últimos días de noviembre, prolongándose así hasta mediados de marzo. Los individuos cantan después de realizar varios llamados durante las mañanas, también pueden cantar al coro del atardecer. Los primeros dos meses podrían pertenecer al periodo de práctica del canto y los siguientes tres meses a la temporada de cortejo, en donde el canto es óptimo para realizar despliegues. Es un ave que defiende intraespecíficamente su territorio emitiendo llamados de alerta para alejar a otro macho (Observación personal).

### **Grabación de cantos y medición de niveles de ruido**

Realicé grabaciones de audio espontáneas (cuando el individuo se encontraba perchado cantando sin ninguna influencia de playback) de los cantos de cortejo de diez machos adultos del cocuite por nivel de urbanización (treinta individuos en total), los cuales fueron elegidos por búsqueda intensiva. Obtuve estas grabaciones del 4 de

febrero al 23 de marzo del 2016, de las 6:00 a las 11:00 am (más detalles en el Cuadro 1). Utilicé un micrófono unidireccional (Rode Shotgun NTG2) conectado a una grabadora de audio (Tascam DR-100MKII), empleándola a una tasa de muestreo de 44.1 kHz y 16 bits en formato "wav". Con ello obtuve un mínimo de tres y un máximo de treinta y un cantos consecutivos por individuo (Cuadro 1). Pytte (1997) muestra que cinco cantos son suficientes para establecer un repertorio representativo por individuo. Inmediatamente después de grabar los cantos de cada individuo registré el nivel de ruido en dBA (presión sonora) con un sonómetro digital (Tester 2310 SL tipo 2), en los cuatro puntos cardinales y en dirección hacia el cielo del sitio de grabación. De este modo tomé seis datos de ruido por cada sentido en intervalos de diez segundos, comenzando aleatoriamente por el norte o por el sur, obteniendo un total de treinta datos por individuo (Manley & Schlesinger, 2000).

Una vez obtenidos los cantos, realicé las medidas espectrales (frecuencia mínima, pico, máxima y ancho de banda) con el programa Raven Pro v.1.4 (Cornell Lab of Ornithology); las medidas temporales (tasa y duración del canto) y de complejidad de canto fueron obtenidos por medio de los espectrogramas generados con el programa Avisoft SASLab lite v.5.2.09 (Avisoft Bioacoustics, Berlin, Germany). En los espectrogramas de ambos programas se consideraron las siguientes características: tasa de muestreo 44.1 kHz, dimensión de muestreo 16, 182 bits, FFT total = 512 puntos, dimensión de marco 100 %, sobrelape 75 %, resolución de frecuencia 172 Hz, 1.45 ms y resolución temporal 183, ventana "Hamming". Todos los análisis estadísticos fueron realizados con la plataforma R v.3.4.0 (R Core Team, 2017).

## Nivel de ruido en dBA

La intensidad de ruido se define como niveles de presión sonora, medido en decibelios (dBA) y son valores en escala logarítmica. Obtuve el promedio logarítmico o energético (Monroy, 2006) de las treinta medidas de amplitud de ruido tomadas en el sitio donde cantó cada individuo de cocuite.

Una vez obtenido el promedio de amplitud, verifiqué la condición de normalidad (Prueba de Shapiro–Wilk,  $\alpha < 0.05$ ), para posteriormente compararlo entre los tres niveles de hábitat (rural, suburbano y urbano) con un análisis de varianza y una prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD para identificar los hábitats distintos.

## Frecuencias (kHz) del canto

Obtuve las frecuencias mínima, máxima y pico mediante el método del umbral descrito por Ríos-Chelén et al. (2016), con el cual seleccioné cada canto en un recuadro del espectrograma, definiendo los límites por la parte inferior y superior de un canto. Primero fue identificado el nivel máximo de decibelios en una determinada frecuencia; esta sería la frecuencia pico, y una vez ubicada la frecuencia pico disminuí el cursor del espectrograma de 20–25 dB para identificar la frecuencia mínima y máxima. Obtuve el ancho de banda por medio de la diferencia de la frecuencia máxima y mínima.

Con estos datos calculé la media armónica de los Hz del canto de cada individuo debido a que ésta es la forma adecuada para las variables que implican tasas o cocientes (Zar, 2010). Con la media armónica obtenida para cada individuo verifiqué la condición de normalidad (Prueba de

Shapiro–Wilk,  $\alpha < 0.05$ ) y realicé un análisis de varianza para compararla entre los tres hábitats (urbano, suburbano y rural). Por otro lado, realicé una regresión lineal simple para ver si las medias armónicas de las frecuencias (mínima, máxima, pico y ancho de banda) dependían del nivel de ruido.

## Incidencia del canto en presencia de ruido

Al observar los espectrogramas de los cantos de *T. curvirostre* del hábitat urbano (Figura 1), noté que a ciertos niveles de ruido los individuos del hábitat urbano dejaban de cantar. Con base en esta observación, decidí obtener la incidencia (presencia-ausencia) de canto y relacionarla con el nivel de ruido (en dB) asociado a él, en frecuencias menores a 1.4 Hz, debido a que por debajo de este nivel de frecuencias el ave aparentemente podría cantar o no. Obtuve el nivel de ruido ambiental (dB) de cada canto y de cada ausencia de canto mediante espectrogramas de las grabaciones sin filtro de ruido por medio del método del umbral descrito en la sección “Frecuencias (kHz) del canto”.

Estos datos de ruido (en dB) obtenidos por las grabaciones no son equivalentes a la forma de caracterizar el nivel de ruido mediante un sonómetro, pues los decibelios obtenidos de la grabación están en función de la distancia a la que se grabó el individuo y de la modulación de la ganancia de grabación. Sin embargo, es posible hacer conversiones de dB a dBA bajo la escala ponderada A si se conoce la banda de frecuencias (kHz) a la que se encuentran los niveles de dB (Monroy, 2006), mediante la siguiente expresión:

$$L_f(dBA) = L_f(dB) + p_f(dB),$$

donde  $L_f(dBA)$  = Nivel de ruido convertido,  $L_f(dB)$  = Nivel individual en dB de ruido en las grabaciones,  $p_f(dB)$  = Equivalencia de frecuencias (kHz) en escala ponderada A (Monroy, 2006). la cual cambia en función de la frecuencia en la que se encuentran los decibeles de la grabación. Estos datos de ruido serán útiles solo para fines del análisis de incidencia y no para hacer una estimación confiable sobre el nivel de ruido ambiental como es en el caso de los datos de ruido obtenidos mediante el sonómetro.

Para determinar si la incidencia de canto (presencia-ausencia) depende del nivel de ruido y del hábitat (urbano, suburbano y rural), realicé una regresión logística binaria (Crawley, 2007), tomando al ave como factor aleatorio. Este análisis es útil para determinar la probabilidad de que ocurra o no el canto en función del nivel de ruido y en los tres niveles de urbanización. Realicé este análisis con el paquete “lme4” (Bates et al., 2016).

## Duración y tasa de canto

Obtuve el tiempo en segundos de la duración de cada canto grabado de cada ave, restando el tiempo final del canto de su tiempo inicial. Los datos resultantes no mostraron distribución normal (Shapiro–Wilk,  $\alpha < 0.05$ ), así que para saber si la duración de canto variaba de un hábitat a otro realicé un modelo lineal generalizado mixto con error de distribución Gamma con el hábitat como factor fijo y el individuo como factor aleatorio, con el paquete “lme4” (Bates et

al., 2016).

Calculé la tasa de canto dividiendo el número de cantos identificados en los espectrogramas de cada individuo, entre el tiempo total de grabación, de tal manera que obtuve un total de diez datos (uno para cada individuo) por cada nivel de urbanización, lo que da un total de treinta datos. Dado que esta variable de respuesta presentó distribución normal (Shapiro–Wilk,  $\alpha < 0.05$ ), realicé un análisis de varianza para ver si existían diferencias entre los tres niveles de urbanización y para ver si la tasa de canto dependía del nivel de ruido realicé una regresión lineal simple.

## Complejidad de canto

Evalué la complejidad de canto por medio de los espectrogramas en donde identifiqué de forma idiosincrásica las sílabas distintas de cada canto (rural = 140 cantos, suburbano = 165 cantos y urbano = 137 cantos), haciendo distinción de variaciones discretas (sílabas que muestran cambios de su forma en distintos momentos del canto consideradas sílabas del mismo tipo) y continuas (sílabas adjuntas que aparentan tener la misma forma, pero mantiene un cambio transitorio consideradas sílabas del mismo tipo) bajo el criterio de Pytte (1997) . A cada una de éstas le asigné un código alfanumérico. Posteriormente, conté el número de sílabas distintas. Para cada ave, obtuve el repertorio silábico total, contando el número total de sílabas de todos los cantos. Finalmente obtuve la complejidad de canto con la siguiente expresión:

$$Co = \frac{sDis}{rSil} sT$$

donde  $Co$  es la complejidad de cada canto por individuo;  $sDis$  son las sílabas distintas de un canto del individuo;  $rSil$  es el repertorio silábico del individuo;  $sT$  son las sílabas totales de todos los cantos registrados de cada individuo.

De esta forma obtuve cuatrocientos cuarenta y dos datos de complejidad de canto, los cuales no tuvieron distribución normal (Shapiro-Wilk,  $\alpha < 0.05$ ). Para saber si la complejidad del canto variaba de un hábitat a otro, realicé un modelo lineal generalizado mixto con error de distribución Gamma, con el hábitat como factor fijo y el individuo como factor aleatorio, con el paquete "lme4" (Bates et al., 2016).

## Diferenciación del repertorio silábico

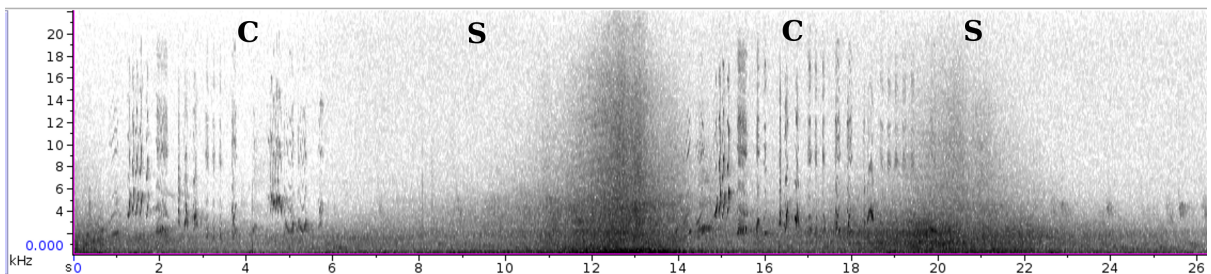
Con los espectrogramas de los cantos de cada individuo, identifiqué las sílabas comunes entre todos los individuos, de la misma forma como en la complejidad de canto. Las sílabas comunes se agruparon de la siguiente manera: las sílabas comunes a los tres hábitats; las sílabas comunes a todos los individuos de un mismo hábitat; las sílabas comunes sólo a unos cuantos individuos de cada hábitat. Posteriormente elaboré una matriz

de frecuencias donde las filas corresponden a los individuos y las columnas a las sílabas compartidas. Para saber si el repertorio silábico entre hábitats era diferente, apliqué un análisis de varianza semi paramétrico multivariado (perMANOVA), con mil permutaciones (Kindth, 2005) con el paquete "vegan" (Oksanen et al., 2017). Para la identificación de conglomerados apliqué un análisis de perfil de similitud (SIMPROF) con distancias Euclideas, método UPGMA y contrastes de hipótesis por nodo con mil permutaciones y  $P < 0.01$ , con el paquete "clustsig" (Whitaker & Christman, 2015) y para estimar las distancias de similitud/disimilitud apliqué una prueba de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) con distancias Euclideas y dos dimensiones (Sommerfeld & Clarke 1995) con el paquete "vegan" (Oksanen et al., 2017).

## Resultados

### Ruido (Nivel de presión sonora)

Los niveles de ruido en el hábitat urbano (media  $\pm$  EE ,  $74.17 \pm 0.39$  dBA) son mayores que en el suburbano ( $57.72 \pm 0.26$  dBA) y ésta es mayor al hábitat rural ( $50.10 \pm 0.25$  dBA). La diferencia de ruido entre el hábitat rural y el suburbano es de 7.62 dBA, la del suburbano y urbano es de 16.45 dBA



**Figura 1:** Espectrograma obtenido de Raven Pro que muestra dos cantos (C) de *T. curvirostre*. Las fluctuaciones de ruido provocadas por el tráfico urbano en la ciudad de Puebla son posibles de observar entre los silencios (S) del canto de *T. curvirostre*.

y el rural del urbano de 24.07 dBA. El nivel de dBA es dependiente del gradiente de urbanización y la variación es explicada por un 71 % (Cuadro 2), donde el hábitat urbano muestra un mayor rango en los niveles de ruido (Figuras 1 y 2).

### Frecuencias (kHz) del canto

Ni la frecuencia mínima, ni la frecuencia pico dependen del nivel de ruido, en ambos casos el nivel de ruido no explica la variación de los Hz (Cuadro 3). Por el contrario, hay dependencia de la frecuencia máxima en función del ruido con un 26 % de relación, el ancho de banda también depende del nivel de ruido con un 23 % de relación, los porcentajes son reflejados en el valor de  $r^2$  (Cuadro 3, Figuras 3a y 3b).

Por otro lado, la frecuencia mínima (media = 1.22 kHz  $\pm$  EE = 0.02) y la frecuencia pico (media = 2.62 kHz  $\pm$  EE = 0.04) no difieren entre los tres tipos de hábitat, la variación que aporta el hábitat es de 10 % y 1 % respectivamente, por otro lado la frecuencia máxima y el ancho de banda difieren entre hábitats, donde la variación aportada por el hábitat es de 29 % y 37 % respectivamente (Cuadro 4). La prueba de comparaciones múltiples mostró que la frecuencia máxima del hábitat rural es igual que las del suburbano, pero menor a la del urbano, y entre estos dos no difieren (Figuras 4a y 4b). El ancho de banda también difiere entre hábitats, y de acuerdo a las comparaciones múltiples, mostró que el ancho de banda del hábitat rural es menor que la del suburbano y del urbano, y entre estos dos no difieren entre sí (Figuras 4a y 4b).

### Incidencia del canto en presencia de ruido (dBA)

El análisis de regresión logística binaria muestra que la incidencia del canto no depende del nivel de ruido en el hábitat rural y suburbano ( $z = 0.924$ ,  $P = 0.36$  y  $z = 1.04$ ,  $P = 0.30$ , respectivamente). Por otro lado, encontré que la incidencia del canto depende del nivel de ruido en el hábitat urbano, donde la pendiente del hábitat urbano difiere de la pendiente del hábitat rural ( $z = 2.95$ ,  $P = 0.003$ ). La variación explicada por el nivel de ruido y el hábitat es menor al 2 % entre ambos términos (Cuadro 5, Figura 5).

### Duración y tasa de canto

El análisis de contrastes mostró que la duración del canto en el hábitat suburbano y urbano no difieren del hábitat rural ( $t = 1.117$ ,  $P = 0.264$ ;  $t = 0.364$ ,  $P = 0.716$ ). La duración general del canto (media EE) fue de 7.16 minutos  $\pm$  0.30,  $n = 442$ .

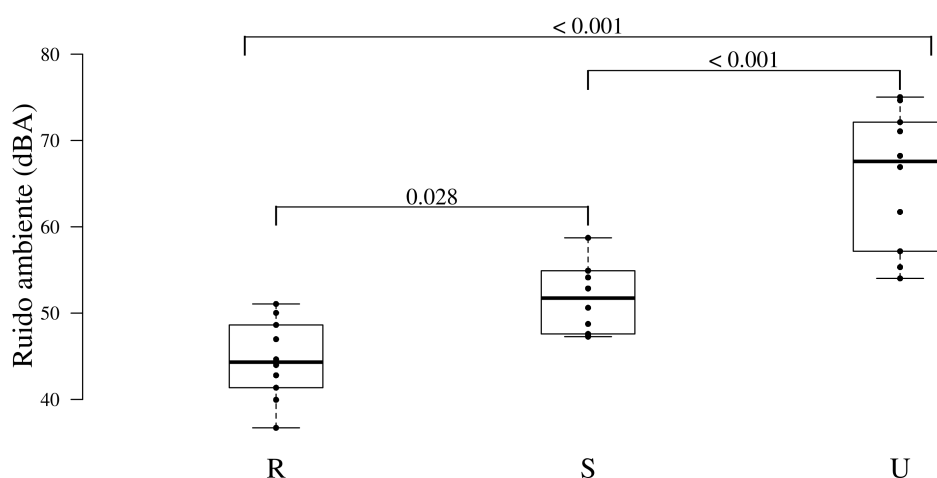
La tasa de canto no difiere entre los tres tipos de hábitat ( $F = 2.659$ ,  $P = 0.088$ ), sin embargo la variación dada por el hábitat es explicada por un 19 %. Por otro lado, la regresión lineal simple mostró que la tasa de canto no depende del nivel de ruido ( $t = 0.854$ ,  $P = 0.4$ ) con una relación del 2 %. La tasa de canto general (media  $\pm$  EE) fue de 3.5 cantos por minuto  $\pm$  0.13,  $n = 30$ .

### Complejidad de canto y repertorio silábico compartido

El análisis de contrastes mostró que la complejidad de canto de los machos del hábitat rural no difiere del hábitat suburbano

**Cuadro 2:** Tabla de análisis de varianza del nivel de ruido en función del hábitat.

Término	gl	SC	CM	F	P	%
Hábitat	2	2284	1142	33.8	<0.0001	71.48
Error	27	911	34			28.51
Total	29	3196	1176			100



**Figura 2:** Niveles de ruido de la ciudad de Puebla para los tres hábitats considerados en este estudio: R = rural, S = suburbano y U = urbano. Las barras horizontales indican la comparación por pares y los números indican los valores de probabilidad de acuerdo a la prueba de Tukey. Los puntos dentro de las cajas representan los datos del nivel de ruido.

( $t = 0.585$ ,  $P = 0.562$ ), ni del hábitat urbano ( $t = 0.006$ ,  $P = 0.995$ ). El promedio general (media EE) del índice de complejidad fue de  $2.40 \pm 0.795$ ,  $n = 442$ .

El análisis de perfil de similitud (SIMPROF) del repertorio silábico mostró que los individuos se agrupan de acuerdo al hábitat en el que se encuentran. El repertorio silábico de los individuos del hábitat urbano

y suburbano es similar entre sí con respecto al de los machos rurales; este último se concentra en la base del dendrograma de las sílabas compartidas (Figura 6). Al interior del hábitat rural se forman dos subgrupos, en el suburbano también se forman dos subgrupos y dos individuos quedan aislados, mientras que en el hábitat urbano se forman tres subgrupos. (Figura 6).

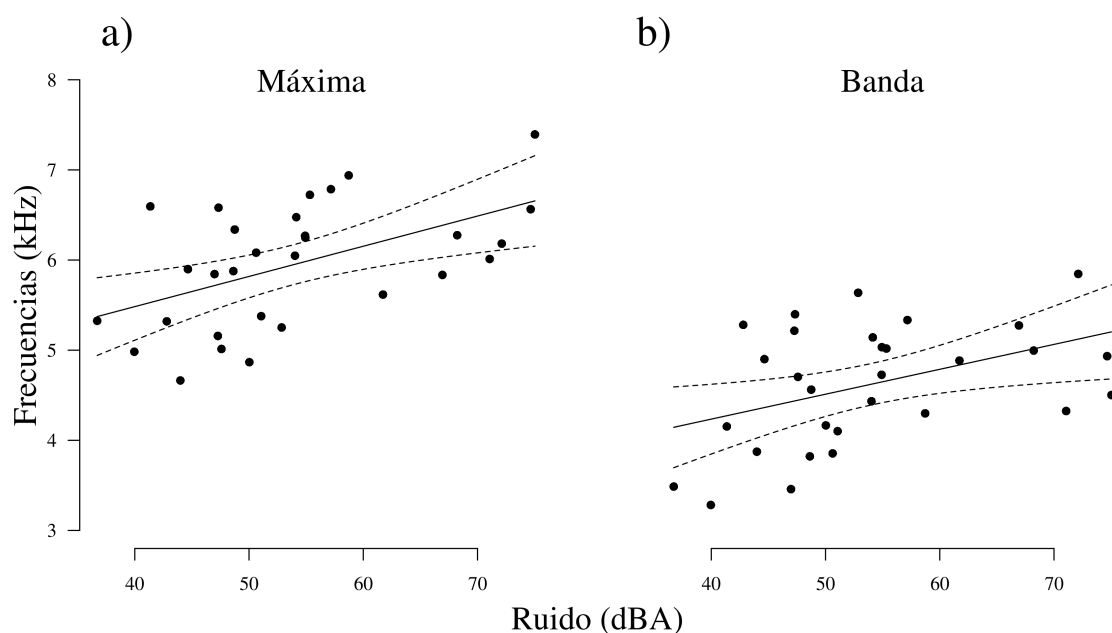


**Figura 3:** Ubicación de los sitios donde se hicieron las grabaciones de cada individuo, donde se muestran los niveles de ruido obtenidos para cada uno de ellos de acuerdo a la escala de colores que se muestra.

**Cuadro 3:** Parámetros estimados y valores de significancia, a partir del análisis de regresión lineal simple de las frecuencias (kHz) del canto de *Toxostoma curvirostre* en función de ruido de los tres niveles de urbanización de la ciudad de Puebla y sus alrededores

Frecuencia(kHz)	Parámetro	Estimados	EE	$t$	$P$
Mínima	b	1.22	0.18	10.41	0.0001
	m	<0.01	0.002	<0.001	0.99
Pico	b	2.51	0.223	11.24	0.0001
	m	0.002	0.004	0.52	0.61
Máxima	b	4.14	0.57	7.21	0.0001
	m	0.03	0.10	3.20	0.001
Ancho de banda	b	3.15	0.59	5.31	0.0001
	m	0.03	0.01	2.52	0.01 *

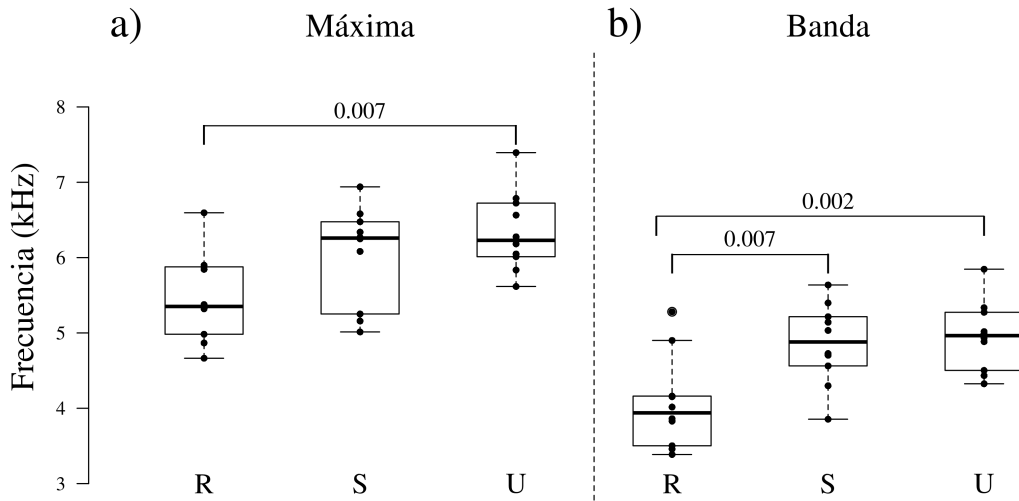
b = ordenada al origen  
m = pendiente



**Figura 4:** Relación de la frecuencia máxima (a) y ancho de banda (b) como variables dependientes del nivel de ruido para los tres niveles de urbanización en conjunto para cada gráfica. Se muestra la línea resultado de la regresión lineal simple (líneas continuas) y los intervalos de confianza (líneas discontinuas) al 95 %.

**Cuadro 4:** Tabla de análisis de varianza de las frecuencias (kHz) del canto de *Toxostoma curvirostre* en función del hábitat.

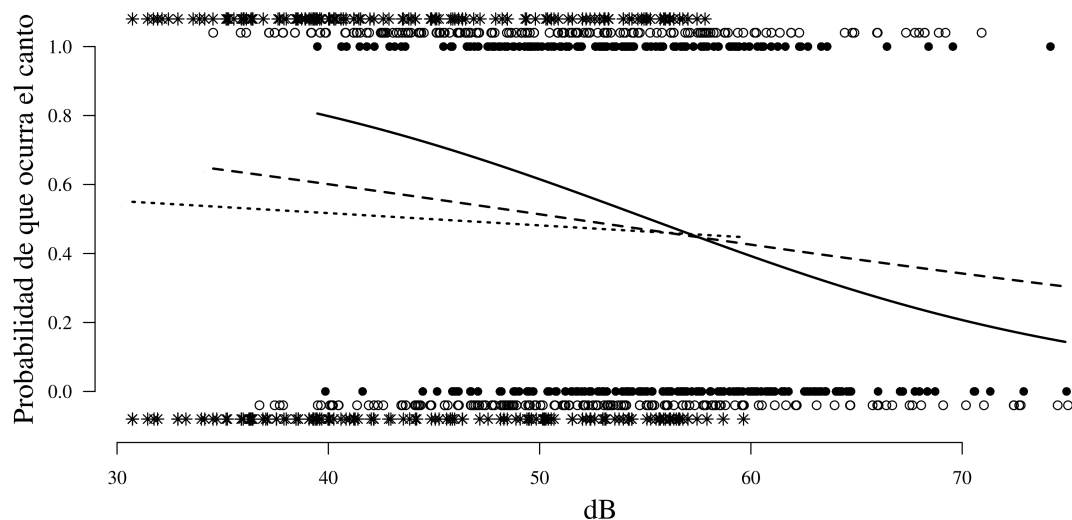
Frecuencia (kHz)	Término	gl	SC	CM	F	P	%
Mínima	Hábitat	2	0.04	0.02	1.65	0.211	10.75
	Error	27	0.37	0.01			89.24
	Total	29	0.41	0.04			
Pico	Hábitat	2	0.02	0.01	0.17	0.844	1.20
	Error	27	1.50	0.054			98.79
	Total	29	1.50	0.064			
Máxima	Hábitat	2	3.88	1.94	5.51	0.001 **	29
	Error	27	9.49	0.35			71
	Total	29	13.37	2.29			100
Banda	Hábitat	2	4.90	2.45	8.16	0.001 **	37.66
	Error	27	8.11	0.30			62.33
	Total	29	13.02	2.75			



**Figura 5:** Frecuencias (kHz) del canto (Máxima = Frecuencia máxima, Banda= Ancho de banda) por gradientes de urbanización (R= rural, S= suburbano, U= urbano). Las barras horizontales indican la comparación por pares y los números indican los valores de probabilidad de acuerdo a la prueba de Tukey. Los puntos dentro de las cajas representan los datos de kHz en cada hábitat.

Las distancias de similitud en el repertorio silábico entre hábitat son distintas, donde el hábitat explica el 81 % de variación, el nivel de ruido explica el 0.4 %, la interacción entre hábitat y ruido explica el 2.1 %, y el 16 % restante es explicado por variables que no fueron tomadas en cuenta (Cuadro 6). El repertorio silábico del hábitat suburbano es marginalmente distinto del rural, el hábitat urbano es distinto del rural y el hábitat urbano no difiere del suburbano (Tukey  $P = 0.047$ ,  $P < 0.001$ ,  $P = 0.343$ , respectivamente). La talla del repertorio (sílabas distintas en un individuo) por hábitat (media  $\pm$  EE)

fue de  $41.3 \pm 3.266$  rural,  $42.9 \pm 4.7$  suburbano y  $39.2 \pm 3.147$  urbano. El NMDS muestra el ordenamiento del repertorio diferenciado espacialmente por distancias relativas de similitud. Los individuos del hábitat rural muestran una distribución espacial dispersa y no sobrelapada. Los individuos del hábitat suburbano y urbano se encuentran sobrelapados y poco dispersos entre sí; en estos hábitats los individuos muestran tener un repertorio silábico menos diferenciado que en el hábitat rural (Stress = 0.09, 2 dimensiones, Figura 7).



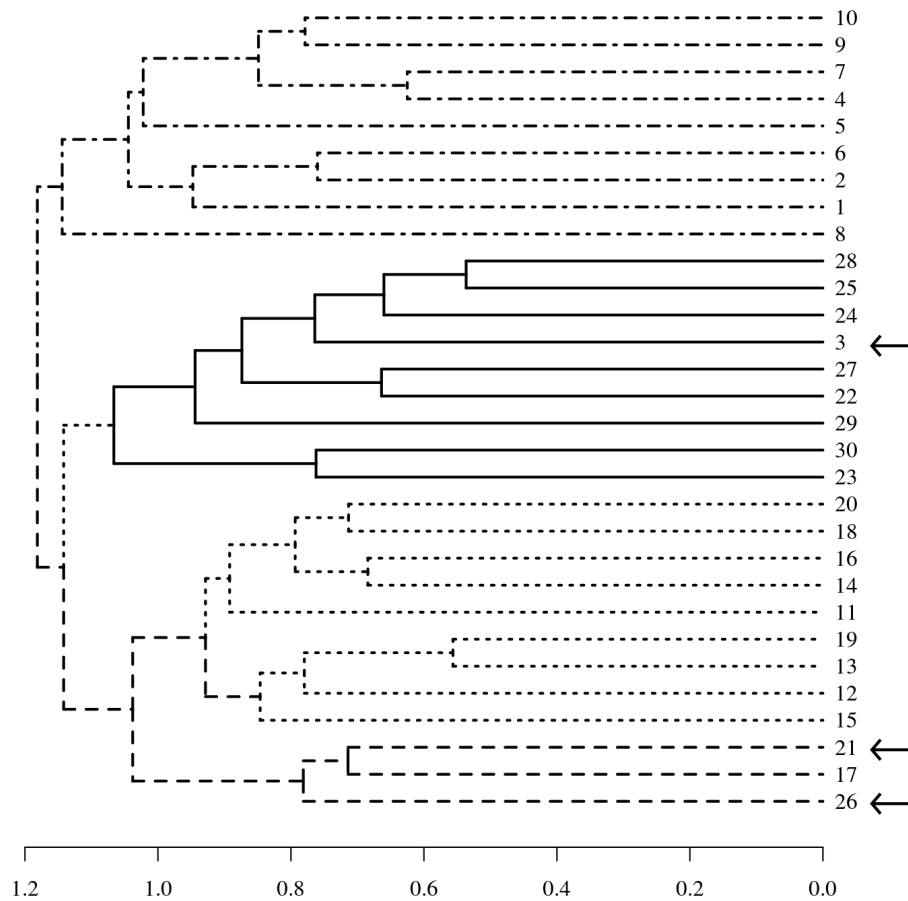
**Figura 6:** Probabilidad de que *Toxostoma curvirostre* cante en presencia de ruido (dB) en el gradiente rural (pendiente de línea punteada y asteriscos), suburbano (pendiente de línea discontinua y puntos blancos) y urbano (línea continua y puntos sólidos). La variable dependiente muestra el nivel de ruido del canto y del silencio, donde 1 = Canto y 0 = Silencio

**Cuadro 5:** Valores de devianza ( $x^2$ ) y porcentaje de variación explicada por cada término del modelo, resultado del modelo lineal generalizado de la incidencia del canto de *Toxostoma curvirostre* en función del nivel de ruido en los tres hábitats (rural, suburbano y urbano) de la ciudad de Puebla.

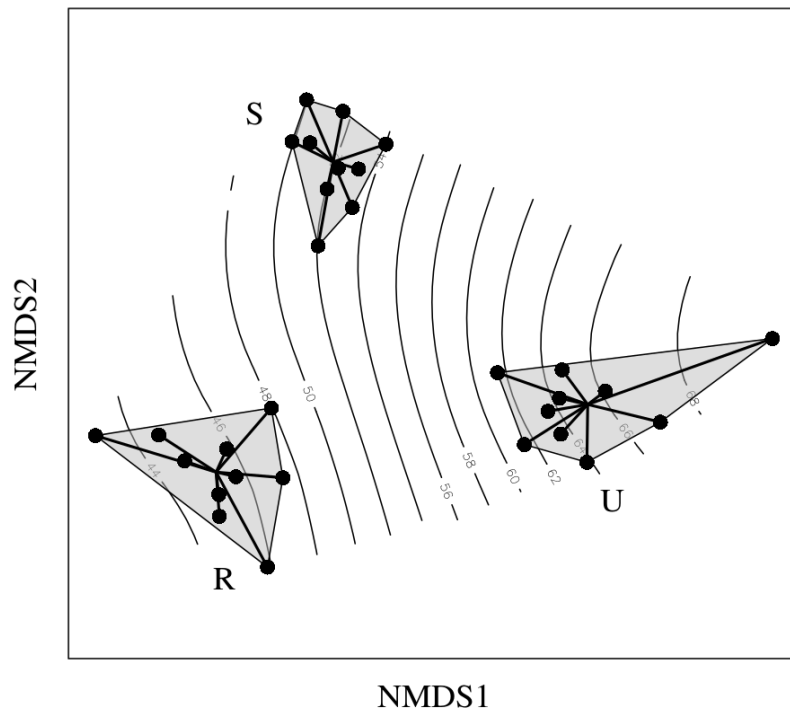
Término	gl	Devianza( $x^2$ )	P	%
Ruido	1	13.90	<0.0001	1.25
Hábitat	2	29.28	0.098	0.37
Ruido:Hábitat	2	9.26	0.001	0.75
Error	878	1196.2		97.6
Total	883	1225.5		

**Cuadro 6:** Resultados del perMANOVA y porcentaje de variación explicada por cada término del modelo.

Término	gl	SC	CM	F	%	P
Hábitat	2	2.407	1.203	60.037	81.10	0.001
Ruido	1	0.013	0.013	0.676	0.40	0.544
Hábitat:Ruido	2	0.064	0.032	1.599	2.10	0.158
Residuales	24	0.481	0.020		16.20	
Total	29	2.966			1	



**Figura 7:** Clasificación de los 30 individuos de *T. curvirostre* (Numeración: del 1-10 = rural, 11-20 = suburbano, 21-30 = urbano) mediante un dendrograma basado en las sílabas compartidas entre individuos, donde se han diferenciado 4 grupos. Las flechas indican individuos de hábitats distintos a los que están agrupados.



**Figura 8:** Ordenamiento de los 30 individuos de *T. curvirostre* por escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) en distancias relativas de los gradientes de urbanización por diferenciación silábica. Individuos en polígono Urbano (U) representan un repertorio diferenciado, elementos en polígono suburbano (S) representa un repertorio poco diferenciado, los elementos del polígono rural representa una diferenciación intermedia respecto al urbano y suburbano.

## Discusión

En el presente estudio encontré que la intensidad de ruido es distinto en los tres niveles de urbanización (rural, suburbano y urbano) y está asociado a la frecuencia máxima y ancho de banda del canto de *T. curvirostre*. No se encontró una asociación entre los niveles de ruido con las frecuencias pico o mínima, duración del canto, tasa de canto y complejidad de canto. La incidencia del canto no es distinta entre hábitats pero hay una dependencia negativa del ruido. Por otro lado el repertorio silábico es distinto por hábitat.

Los resultados muestran que el nivel de ruido es mayor en la zona urbana, seguido de la zona suburbana y el nivel más bajo de ruido se encuentra en la zona rural. En el sitio urbano se presentó la mayor variación, cuyos valores mínimos son similares a los máximos de la zona suburbana, mientras que la zona suburbana presentó la menor variación. Esto podría deberse a los componentes estructurales de cada hábitat y al horario de observación que repercute en la actividad antropogénica y con ello en los niveles de ruido, especialmente en el hábitat urbano debido a que el nivel de ruido por tráfico vehicular es mayor en momentos cercanos a horas laborales. La presencia de ruido en el hábitat rural está caracterizada por corrientes de aire, biofonías, sonido producido por maquinaria agrícola y perifoneo de los pueblos cercanos. El ruido del hábitat suburbano es producido por el tránsito vehicular moderado, perifoneo constante, componentes de fiestas patronales, biofonías y sonido del viento; el ruido urbano se caracterizó por tener picos con lapsos de silencio, conformado principalmente por tránsito vehicular continuo, biofonías, corrientes de aire y antropofonías de diferente tipo y

origen. Los valores promedio de los niveles de ruido por gradiente de urbanización obtenidos en este estudio (rural = 50.10 dBA, suburbano = 57.72 dBA, urbano = 74.17 dBA) son similares a los reportados por González-Oreja (2017), en donde seleccionó rangos de variación de ruido como niveles representativos (bajo = 48 dBA, medio = 60 dBA y 72 dBA) dentro y fuera de la ciudad de Puebla. Estas diferencias son dadas por los característicos componentes urbanos que favorecen el nivel de ruido, como son el tráfico intenso, edificios altos que pueden funcionar como cajas de resonancia acústica o alta actividad antropogénica.

La frecuencia mínima en función del nivel de ruido fue observado en *Parus major* L. por Slabbekorn & Peet (2003), donde observaron que los machos cantaban a una frecuencia mayor en lugares con niveles altos de ruido (63 dBA) que aquellos que cantaban en niveles bajos de ruido (42 dBA). Por otro lado, Slabbekorn & Boer-Visser (2006) encontraron en la misma especie que la frecuencia mínima es mayor en zonas urbanas que en zonas boscosas. Así mismo, Bermúdez-Cuamatzin et al. (2011) encontraron la misma tendencia en machos de *Haemorhous mexicanus* Müller sometidos experimentalmente a niveles de ruido bajos (44–57 dBA) y altos (56–65 dBA). Estos patrones son distintos a lo que he encontrado con *T. curvirostre* donde las frecuencias mínima y pico del canto no fueron dependientes de la presencia de ruido ni mostraron diferencias entre hábitats. Por ejemplo en *H. mexicanus* de la ciudad de México la frecuencia mínima es mayor en zonas de la ciudad con niveles elevados de ruido antropogénico, lo cual se estudió en un gradiente de ruido urbano (Bermúdez-Cuamatzin, 2009). Una posible explicación del por qué los machos de *T. curvirostre* no muestran frecuencias

picos o mínimas más elevadas en zonas con mayor amplitud de ruido puede deberse a que las frecuencias de esta ave son bajas y aunque incrementaran dichas frecuencias, esto no ayudaría a desenmascarar el canto de las frecuencias bajas del ruido antropogénico. Lo anterior es mostrado en los estudios comparativos de Hu & Cardoso (2009) y Parris & Schneider (2009) en donde compararon especies con cantos de frecuencias pico y mínimas bajas, medias y altas. Estos autores encontraron que las especies con frecuencias muy bajas y altas no ajustan tanto como las especies de frecuencias entre 1-1.5 kHz, ya que únicamente estas especies pueden evitar el enmascaramiento si realizan un incremento de dichas frecuencias.

En la frecuencia máxima y el ancho de banda, Mendes et al. (2011) observó en los cantos de *Turdus merula* L. que mostraron una dependencia positiva en el incremento del ruido, así como diferencias por un gradiente de urbanización (rural, suburbano y urbano) donde el sitio urbano mostró el mayor ancho de banda. El ruido del ambiente contiene una gran cantidad de energía en las frecuencias bajas, en donde un traslape con las frecuencias del canto disminuye el éxito de atraer pareja o de defender territorio, generando consecuencias negativas en la reproducción, por lo que los machos tienden a elevar la frecuencia de su canto con la función de no ser enmascarados por el ruido (Halfwerk et. al, 2011a). Lo anterior es una tendencia similar a lo que yo encuentro con *T. curvirostre* en cuanto a la frecuencia máxima y el ancho de banda del canto, donde estas mostraron una dependencia positiva del nivel del ruido y mostraron diferencias entre hábitats. Al elevar la frecuencia máxima, siendo la región más aguda del canto, existen menos complicaciones para que el canto sea escuchado por individuos con-

pecíficos en un ambiente con altos niveles de ruido; , de este modo, la frecuencia mínima no necesita ser elevada y en consecuencia el ancho de banda es mayor si el ruido aumenta.

La incidencia del canto para el hábitat rural mostró la misma probabilidad de ocurrencia en distintos niveles de ruido, lo cual podría deberse a que en este hábitat el ruido es relativamente bajo y con pocas fluctuaciones; en el hábitat suburbano encontré que a mayor nivel de ruido es menor la probabilidad de que el ave cante. En contraste, en el hábitat urbano es donde encontré mayor efecto del ruido en la probabilidad de que el ave cante o no, lo cual está asociado a que en este sitio se presentan niveles suficientemente fuertes de ruido, que provocan que el ave deje de cantar, alternados con niveles bajos de ruido, aprovechados para emitir el canto. Un patrón similar a este fue descrito por Fuller et al. (2007) con individuos de *Erithacus rubecula* L. en sitios urbanos optan por cantar durante la noche debido a la disminución de ruido durante la noche . En este sentido, *T. curvirostre* canta en las ventanas de silencio del ruido intermitente, característico del tráfico vehicular, pues una de las diversas formas de evitar el ruido del ambiente es cambiar el momento de vocalizar (Fuller et al., 2007; Yang & Slabbekoorn, 2014).

En lo que se refiere a las variables temporales del canto de *T. curvirostre*, ni la tasa ni duración del canto se vieron influenciadas por la presencia de ruido, ni fueron distintas entre hábitats, lo que indica que el nivel de urbanización no es un factor que modifique la cantidad de cantos que un macho emite, ni que modifique la duración de este. Este patrón difiere a lo que Francis et al. (2011) encontraron con dos especies cercanamente

relacionadas, donde ambas realizan modificaciones en la duración de su canto cuando incrementa el ruido; *Vireo plumbeus* Coues disminuye la duración del canto mientras que *Vireo vicinior* Coues realiza cantos más largos. Sin embargo, en otras especies como *H. mexicanus*, Bermúdez–Cuamatzin et al. (2009) no se encontró que los machos emitiesen cantos más cortos o largos en lugares ruidosos. Si los machos de *T. curvirostre* no muestran diferencias respecto al tiempo que emplean para cantar, es posible que sea por preferencia de selección sexual o porque la duración del canto no es un parámetro afectado por la presencia de ruido.

Según mis medidas de complejidad el canto del cocuete es igual de complejo en los tres hábitats que presentan diferentes niveles de ruido antropogénico, lo cual difiere de lo que Brumm & Slater (2006) han reportado para *Fringilla coelebs* L. en varios sitios de Escocia. Ellos indican que el canto varía en la intensidad del ruido ambiental y en sitios más ruidosos la complejidad de canto es menor porque esto implica fatiga neuromuscular, se cree que disminuir la complejidad de canto ayuda a estas aves a lidiar con el ruido porque de este modo tienen la capacidad de seguir cantando. El patrón encontrado en *T. curvirostre* podría no tener problemas con la fatiga en el momento de hacer cantos igualmente complejos y por tanto, esto no repercute en la capacidad de las aves de esta especie para seguir cantando.

Por otro lado, existe diferenciación del repertorio silábico entre individuos de *T. curvirostre* pero conservando sílabas compartidas de la especie y del hábitat, por lo que hay sílabas representativas de la especie, sílabas que identifican al hábitat y sílabas únicas de los individuos. Estas variaciones son importantes en la elección de pare-

ja ya que los dialectos pueden ser seleccionados como una señal social y sexual. Este patrón de diferenciación vocal por variación espacial ha sido descrito en *Ara militaris* L. en Jalisco, México por Salinas–Melgoza & Renton (en revisión) en dos hábitats distintos, separados por 40 km. Esto también se ha reportado para los dialectos vocales de *Amazona auropalliata* Lesson en Costa Rica descritos por Salinas–Melgoza (2012). Por otro lado, Sosa–López & Menill (2014) han reportado las diferencias vocales de especies de *Troglodytes* sp. asociadas a la latitud. Sosa–López et al. (2013) han encontrado también variación vocal de subespecies de *Chlorospingus ophthalmicus* Du Bus de Gisignies en San Luis Potosí, Veracruz y Oaxaca, México. La diferencia con mi trabajo es que la distancia entre hábitats está limitado a 4 km entre rural y suburbano, 11 km entre suburbano y urbano y 15 km entre urbano y rural; se trata de distancias relativamente cortas considerando la actividad de un ave. Lo anterior implica que probablemente la variación inicia a escalas espaciales de paisaje, al menos para *T. curvirostre*.

Como conclusión, encontré que algunos parámetros del canto de *T. curvirostre* son ajustados de acuerdo a los niveles de ruido considerados en la ciudad de Puebla y sus alrededores. Los parámetros del canto que muestran mayores diferencias entre los tres niveles de urbanización en función del ruido son la frecuencia máxima, el ancho de banda, la probabilidad de que el ave cante o no y la diferenciación silábica tiene una fuerte influencia del hábitat pero no del ruido. Estos parámetros son necesarios para la elección y reconocimiento de pareja o para la defensa de territorio, y juegan un papel importante en el establecimiento de esta especie en distintos hábitats. Las variables que no se ven influenciadas por el nivel de urbanización ni por la intensidad de ruido son la frecuencia

mínima, frecuencia pico, duración, tasa y complejidad de canto. La homogeneidad de estos parámetros pueden permitir explicar una parte de la amplia distribución de *T. curvirostre* como una ventaja de establecimiento en distintos niveles de urbanización, ya que estas propiedades del canto no se ven afectadas por el ruido o la estructura urbana. Este trabajo abre el panorama a hacer estudios posteriores: referentes a los parámetros espectrales no solo por canto sino por sílaba, debido a que posiblemente haya una correlación entre el repertorio silábico y las propiedades espectrales de cada sílaba, pues la diferenciación para estas variables mantuvieron la misma tendencia; evaluar la relación espacial entre individuos según la sílaba compartida, ya que la diferenciación silábica puede estar influenciada no solo por el hábitat sino por la distancia u otras características propias de cada hábitat.

## Referencias

Avisoft Bioacoustics, Berlin, Germany, 2017. Extraído de <http://www.avisoft.com/>, 1 de Junio de 2016.

Atalo R V, Glynn C Lundbefg A, (1990a). Singing rate and female attraction in the pied flycatcher: an experiment. *Animal Behaviour*, 39, 601–603.

Baich P J Harrison C J O, (1997). Mockingbirds and Thrashers (Mimidae). *Nests, Eggs and Nestlings of North American Birds*. 258–261.

Baker M C, Bjerke T K, Lampe H U Espmark Y O, (1987). Sexual response of female yellowhammers to differences in regional song dialects and repertoire sizes. *Animal Behavior*, 35, 395–401.

Ballentine B, Badyaev A Hill G E, (2003). Changes in song complexity co-

respond to periods of female fertility in blue grosbeaks (*Guiraca caerulea*). *Ethology*, 109:55–66.

Bermúdez-Cuamatzin E, Ríos-Chelén A A, Gil D García C M, (2011). Strategies of song adaptation to urban noise in the house finch: syllable pitch plasticity or differential syllable use?. *Behaviour*, 146:1269–1286.

Bermúdez-Cuamatzin E, Ríos-Chelén A A, Gil D Macías Garcia C, (2009). Strategies of song adaptation to urban noise in the house finch: syllable pitch plasticity or differential syllable use? *Behaviour*, 146, 1269–1286.

Boughey M J Thompson N S, (1975). Species specificity and individual variation in the songs of the brown thrasher (*Toxostoma rufum*) and catbird (*Dumetella carolinensis*). *Behaviour*, 58, 64–90.

Brumm H Slabbekoorn H, (2005). The problem of background noise. *Acoustic Communication in Noise. Advances in the Study of Behavior*, 35: 151.

Brumm H Slater P J B, (2006). Ambient noise, motor fatigue, and serial redundancy in chaffinch song. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 60:4, 475–481.

Catchpole C K Slater P J B, (2008). *Bird song: Biological themes and variations*. Cambridge, University Press. United States of America. Pp. 3, 6, 7, 21, 172.

Center for International Earth Science Information Network, (2004). The trustees of Columbia University in the city of New York. Earth Institute. Consultado 01–04–2017 en <http://www.ciesin.org> en mayo de 2017.

Crawley M J, (2007). *The R Book*. Imperial College London at Silwood Park, UK 51: 511 - 526.

Cornell Lab of Ornithology. Extraído de <http://www.birds.cornell.edu/brp/raven/RavenOverview.html>. 1 Junio de 2016.

Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New

- York, USA. Retrieved from Neotropical Birds Online. Curve-billed Thrasher (*Toxostoma curvirostre*), In Neotropical Birds Online (T. S. Schulenberg, editor). Extraído de <https://neotropical.birds.cornell.edu/SpeciesAccount/nb/species/cubthr>. 7 Diciembre 2017.
- Dorantes F, (2015). Importancia de las áreas verdes de la ciudad de Puebla para la avifauna. Tesis de licenciatura para obtener el título de Biólogo. Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Dunn J L Alderfer J, 2011. National Geographic Field Guide to the birds of North America. National Geographic Society. Pp. 408.
- Er K B H , Innes J L, Martin K and Klinckenberg B, ( 2005 ). Forest loss with urbanization predicts bird extirpations in Vancouver . *Biological Conservation* , 126 , 410 – 419 .
- Francis C D, Ortega C P Cruz A, (2011). Different behavioural responses to anthropogenic noise by two closely related passerine birds. *Behaviour*.
- Fuller RA, Warren PH, Gaston KJ, (2007). Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biol Lett* 3:368-370.
- Gil D Brumm H, 2014. Acoustic communication in the urban environment. En: *Avian urban ecology*. Oxford University Press, 69-79.
- González C Ornelas J F, (2005). Song structure and microgeographic song variation in wedge-tailed sabrewings (*Campylopterus curvipennis*) in Veracruz, Mexico. *The Auk*, 122:2, 593.
- González C Ornelas J F, (2014). Acoustic divergence with gene flow in a lekking hummingbird with complex songs. *PLoS ONE*. 9:10.
- González C, Ornelas J F Gutiérrez-Rodríguez C, (2011). Selection and geographic isolation influence hummingbird speciation: genetic, acoustic and morphological divergence in the wedge-tailed sabrewing (*Campylopterus curvipennis*). *BMC Evolutionary Biology* 11:1, 38.
- González-Oreja J A, Bonache C, Buzo D, De La Fuente-Díaz A A y Hernández L, (2007). Caracterización ecológica de la avifauna de los parques urbanos de la ciudad de Puebla (México). *Ardeola* 54:1, 53-67.
- González-Oreja, J A, de la Fuente-Díaz-Ordaz, A A, Hernández-Santín L, Buzo-Franco D y Bonache-Regidor C (2010). Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation* 33:1, 31–45.
- González-Oreja J A, De La Fuente-Díaz-Ordaz A A, Hernández-Santín L, Bonache-Regidor C Buzo-Franco D (2012). Can human disturbance promote nestedness? Songbirds and noise in urban parks as a case study. *Landscape and Urban Planning* 104:1, 9–18.
- González-Oreja J A, Barillas-gómez A L, Bonache-Regidor C, Buzo-Franco D, Garcia-Guzmán J Hernández-Santín L (2012). Does Habitat Heterogeneity Affect Bird Community Structure in Urban Parks?. *Studies in Avian Biology* 45, 16.
- González-Oreja J A, (2017). Relationships of area and noise with the distribution and abundance of songbirds in urban greenspaces. *Landscape and Urban Planning* 158, 177–184.
- Gregg J W, Jones C G Dawson T E, (2003). Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City. *Nature* 424, 183–187.
- Grimm N, Grove M. Pickett S, (2000). Integrated approaches to long-term studies of urban ecological system. *BioScience* 50(7): 571-584.
- Hu Y Cardoso G C, (2009). Are bird

- species that vocalize at higher frequencies preadapted to inhabit noisy urban areas?. *Behavioral Ecology*, 20:1268—1273.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Consultado 01-04-2017 en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/default.aspx>
- Krebs J R Davies N B, 1993. The desing of signals: Ecology and evolution. En: *An introduction to behavioural ecology*, 363.
- Leitner S, Marshall R C, Leislerá B Catchpole C K, (2006). Male song quality, egg size and offspring sex in captive canaries (*Serinus canaria*). *Ethology*, 112. 554-563.
- MacGregor-Fors I, (2005). Listado ornitológico del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México: un espacio suburbano. *Huitzil*, 6:1, 1-6.
- MacGregor-Fors I, (2008). Relation between habitat attributes and bird richness in a western Mexico suburb. *Landscape and Urban Planning*, 84:1, 92-98.
- MacGregor-Fors I, (2011). Misconceptions or misunderstandings? On the standardization of basic terms and definitions in urban ecology. *Landscape and Urban Planning*, 100:4, 347-349.
- MacGregor-Fors I, Morales-Pérez L Schondube J E, (2011). Does size really matter? Species area relationships in human settlements. *Diversity and Distributions* 17, 112-121.
- Manley P N Schlesinger M D (2000). Designation of focal vertebrate species for the Lake Tahoe Basin. En: *Lake Tahoe watershed assessment*, Vol. II, Appendix L. (Murphy D D y Knopp C M). United States Department of Agriculture, Washington, DC, p. L1-L6.
- Marler P Slabbekoorn H W, (2004). *Nature's Music. The Science of Birdsong*, 1, pp. 5, 513.
- Marzluff J M, Bowman R Donnelly R, (2001). Worldwide urbanization and its effects on birds. *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. 19-49.
- McDonell M J Pickett S T A, (1990). *Ecosystem Structure and Function along Urban-Rural Gradients: An Unexploited Opportunity for Ecology*. *Ecological Society of America*, 4:71, 1232-1237.
- McIntyre N, Anez K, Program L, Marcos S Hope D, (2000). Urban ecology as an interdisciplinary field : differences in the use of “ urban ” between the social and natural sciences. *Urban Ecosystems*, 4:2000, 5-24.
- McKinney M L ( 2002 ). Urbanization, biodiversity, and conservation . *Bioscience* , 52 , 883 - 890 .
- Mendes S, Colino-Rabal V J Peris S J, (2011). Bird song variations along an urban gradient: The case of the European blackbird (*Turdus merula*). *Landscape and Urban Planning*, 99:51-57.
- Monroy M, (2006). *Manual del ruido. Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria*. *Islas Canarias*. Pp.17-20.
- National Geographic, 2006. Extraído de <http://animals.nationalgeographic.com/animals/birding/curve-billed-thrasher/>, 10 de marzo de 2017.
- Ortega-Álvarez R MacGregor-Fors I, (2009). Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition. *Landscape and Urban Planning*, 90, 189-195.
- Peterson R T y Chalif E L, (1997). *Mímidos. Aves de México, guía de campo*, 305-311.
- Pickett S T A, Burch Jr W R, Dalton S E, Timothy W F, Grove M J Rowntree R, (1997). A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas. *Urban Ecosystems*, 1: 185-199.
- Pineda Maldonado M A, Mendoza Cuamatzi R y Jiménez Moreno F J, (2009). Fa-

- milia Mimidae, mulato y cuitlacoche. Aves del bosque de encino de la Ciudad de Puebla, 81–82.
- Pisanty I, Mazari M y Ezcurra E, (2009). El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 719-759.
- Pytte C L, (1997). Song organization of house finches at the edge of an expanding range. *Condor* 99: 942-954.
- Podos J Nowicki S, 2004. Beaks, Adaptation, and Vocal Evolution in Darwin's Finches. *BioScience*, 54: 6, 501–510.
- Porter E E, Forschner B R Blair R B, (2001). Woody vegetation and canopy fragmentation along a forest-to-urban gradient. *Urban Ecosystems*, 5:2, 131–151.
- Potvin D A, Parris K M Mulder R A, (2011). Geographically pervasive effects of urban noise on frequency and syllable rate of songs and calls in silvereyes (*Zosterops lateralis*). *Proceedings of The Royal Society*, 1–6.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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. *Behav Ecol Sociobiol*, 67, 145–152.
- Ríos-Chelén A A, Mc Donald A N, Berger A, Perry A C, Krakauer A H Patricelli G L, (2016). Do birds vocalize at higher pitch in noise, or is it a matter of measurement? *Behav Ecol Sociobiol*, 71:29.
- Rothstein S I Fleischer R C, (1987). Vocal dialects and their possible relation to honest status signalling in the brown-headed cow-bird. *Condor*, 89, 1–23.
- Salinas-Melgoza A Wright TF, (2012). Evidence for vocal learning and limited dispersal as dual mechanism for dialect maintenance in a parrot. *PLoS ONE* 7 11: e48667.
- Salinas-Melgoza A Renton K, (en revisión). Geographic variation in acoustic signals of the Military macaw. *Sometido a Ethology*.
- Sasahara K, Cody M L, Cohen D Taylor C E, (2012). Structural Design Principles of Complex Bird Songs: A Network-Based Approach. *PLoS ONE*, 7:9.
- Seto K C, Günerlap B, Hutyrá L R, (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *PNAS*, 109:40, 16083-16088.
- Slabbekoorn H Peet M, (2003). Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, 424: 267.
- Slabbekoorn H den Boer-Visser A, (2006). Cities Change the Songs of Birds. *Current Biology*, 16:23, 2326–2331.
- Sorensen M, Barzetti V, Keipi K y Williams J, (1998). Los retos que enfrentan las áreas verdes urbanas. *Manejo de las áreas verdes urbanas*. 21–30.
- Sosa-López J R, Mennill D J Navarro-Sigüenza A G, (2013). Geographic variation and the evolution of song in Mesoamerican rufous-naped wrens *Campylorhynchus rufinucha*. *Journal of Avian Biology*, 44:1, 27–38.
- Sosa-López J R Mennill D J, (2014). The vocal behavior of the Brown-throated Wren (*Troglodytes brunneicollis*): Song structure, repertoires, sharing, syntax, and diel variation. *Journal of Ornithology*, 155:2, 435–446.
- Sosa-López J R Mennill D J, (2014). Continent-wide patterns of divergence in acoustic and morphological traits in the House Wren species complex. *The Auk*, 131, 41–54.

Sosa-López J R Mennill D J, (2014). Vocal behaviour of the island-endemic Cozumel Wren (*Troglodytes aedon beani*): Song structure, repertoires, and song sharing. *Journal of Ornithology*, 155:2, 337–346.

Wilczynski W Ryan M J, (1999). Geographic variation in animal communication systems. *Geographic Variation in Behavior*. 234–261.

Wildenthal J L, (1965). Structure in pri-

mary song of the mockingbird (*Mimus polyglottos*). *The Auk*, 82:2, 161–189.

Yang X J Slabbekoorn H, (2014). Timing vocal behavior: Lack of temporal overlap avoidance to fluctuating noise levels in singing Eurasian wrens. *Behavioural Processes*, 108, 131–137.

Zar J H, (2010). Measures of Central Tendency. *Biostatistical Analysis*. 21–32.

## Códigos de R

En este script hago uso de los paquetes **magrittr**, **dplyr** y **tidyr** óptimas para el manejo de bases de datos. El paquete base de la sintaxis es **magrittr** en donde la función principal es `%>%`, llamado *"pipe"*, el cual indica que a un objeto determinado le será aplicada alguna función, generando así una codificación de cascada.

### Funciones

Algunas funciones no están en R base, por lo que hay que hacer uso de paquetes que las contengan o bien crearlas. La forma de crear una función es haciendo uso de la función `function(x)`, donde "x" puede ser una o más variables que serán asignadas, y lo que se encuentra posterior a `function(x)` es la fórmula que modificará el vector o matriz deseados. Aquí coloco la función para obtener el el promedio armónico y el promedio logarítmico.

```
library(magrittr)
c("dplyr", "tidyr", "vegan", "lme4", "ggplot2", "dendextend") %>%
  sapply(require, character.only=T)

setwd("~/Documentos/Tesis/Analisis")

# Funciones
harmonic<-function (x) 1/mean(1/x)
promlog <- function(x) log10((1/(length(x))*sum(10^x/10)))
```

### Bases de datos

La función `read.csv` ayudará a importar archivos con extensión *".csv"*. Los parámetros importantes de esta función son `header` (encabezados de la base de datos declarados como TRUE o FALSE; debido a que necesito el encabezado para distinguir las variables que usaré declaro a `header` como TRUE) y `sep`. En el caso de importar archivos con extensión *".txt"* es usada la función `read.table`.

```
noPromedios <- read.csv("Datos/noPromedios.csv", header = T) # 442
  registros
promedios <- read.csv("Datos/promedios.csv", header = T) # 30 registros
incidencia <- read.csv("Datos/incidencia.csv", header = T) # 884
  registros
matriz <- read.csv("Datos/matrizt3.csv", sep = "\t", header = T) # 30
  registros
```

### Análisis estadístico

En esta sección haré uso del comando `lapply` de R base para aplicar una misma función a una lista de objetos sin la necesidad de crear objetos para cada variable.

Los elementos importantes para `lapply` son:

```
lapply(objeto, function(x)AlgunaFuncion(x))
```

Donde *objeto* es una lista de objetos y este objeto será *x*, *function(x)* indica que realizaremos una función a esa lista de objetos, *AlgunaFuncion* es la función que deseamos realizar a cada objeto de la lista y *x* representa a *objeto*

```
# Prueba de Shapiro-Wilks para verificar condición de normalidad
lapply(promedios %>%
  select(fmin, fp, fmax, banda, tasaCanto, dBA),
  function(x){
    shapiro.test(x)
  })
# Prueba de normalidad para datos anidados
lapply(noPromedios %>%
  select(tiempoTotal, complejidad),
  function(x){
    shapiro.test(x)
  })
```

## Ruido

El ruido tiene distribución normal por lo que realizo un Análisis de varianza en función del hábitat.

```
# Análisis de varianza
aov(dBA ~ Hab, data = promedios) %>%
  summary
# Prueba de comparaciones múltiples de Tukey
aov(dBA ~ Hab, data = promedios) %>%
  TukeyHSD()
```

## Frecuencias y tasa de canto

Las frecuencias mínima, pico y máxima, así como el ancho de banda tienen distribución normal.

```
# Regresión lineal simple
lapply(promedios %>%
  select(fmin, fp, fmax, banda, tasaCanto),
  function(x){
    lm(x ~ promedios$dBA) %>%
      summary
  })
# Análisis de varianza
lapply(promedios %>%
  select(fmin, fp, fmax, banda, tasaCanto),
  function(x){
    aov(x ~ promedios$Hab) %>%
      summary
  })
```

## Prueba post-hoc

La prueba de Tukey es realizada para modelos que tuvieron variables con resultados significativos para el valor de probabilidad.

```
# Prueba de comparaciones múltiples de Tukey
lapply(promedios %>%
  select(fmax, banda),
  function(x){
    aov(x ~ promedios$Hab) %>%
      TukeyHSD()
  })
```

## Duración y complejidad del canto

Modelo Lineal Generalizado Mixto  
Variables sin distribución normal.

```
# GLMM con error de distribución Gamma
lapply(noPromedios %>%
  select(tiempoTotal, complejidad),
  function(x){
    glmer(x ~ noPromedios$Hab+(1|noPromedios$Ind),
          family = "Gamma") %>%
      car::Anova(test = "Chisq")
  })
```

## Incidencia del canto

La incidencia del canto es una variable de carácter binomial, por lo que uso un Modelo Lineal Generalizado con error de distribución binomial, siendo el hábitat y el nivel de ruido factores fijos y el individuo un factor aleatorio.

```
glmer(Inc~Hab*dBA+(1|Ind), family=binomial, data=incidencia) %>%
  summary
# Comparar modelos para obtener los porcentajes de explicación
expan <- glmer(Inc ~ Hab * dBA + (1|Ind), family=binomial, data=
  incidencia)
sinInt <-glmer(Inc ~ Hab + dBA + (1|Ind), family=binomial, data=
  incidencia)
anova(expan, sinInt) # Chi2 = interacción de ruido y hábitat

mruido <- glmer(Inc ~ dBA + (1|Ind), family=binomial, data=incidencia)
anova(mruido, sinInt) # Chi2 = Ruido

mHabitat <- glmer(Inc ~ Hab + (1|Ind), family=binomial, data=incidencia)
anova(mHabitat, sinInt) # Chi2 = Hábitat

nulo <- glmer(Inc ~ 1 + (1|Ind), family=binomial, data=incidencia)
anova(nulo, expan) # Devianza total
```

## Repertorio silábico

### perMANOVA, prueba SIMPROF y NMDS

La presencia y ausencia de sílabas compartidas, emitidas por los machos de *T. curvirostre* son una variable matricial, por lo que hago uso de un Análisis de varianza multivariado con permutaciones. Posteriormente realizo una prueba SIMPROF para identificar los grupos encontrados en el dendrograma. También realizo un Escalamiento Multidimensional no métrico para identificar los grupos con mayor similitud.

```
# perMANOVA
matDist <- vegdist(matriz[c(-1,-2)])
adonis(matDist ~ matriz$Habitat * ruido$dBA, permutations = 100)

# Prueba simprof para dendrograma
clustsig::simprof(matriz[c(-1,-2)] % >%
  decostand("normalize") % >%
  vegdist("euclidean"),
  num.expected=1000,
  num.simulated=999,
  method.cluster="average",
  method.distance="euclidean",
  method.transform="squareroot",
  alpha=0.01,
  sample.orientation="row",
  const=0, silent=TRUE,
  increment=100)

# NMDS
modNMDS <- metaMDS(matriz[c(-1,-2)], distance="euclidean", k=2)
```

## Gráficas

```
## ----- y = RUIDO en función de x = hábitat ----
promedios % >%
  ggplot(aes(x = Hab, y = dBA, fill = Hab)) +
  geom_boxplot() + # Gráfica de cajas y alambres
  geom_point() +
  theme_classic() +
  theme(legend.position = "") +
  xlab("")

## ----- y = FRECUENCIAS en función de x = ruido ----
promedios % >%
  select(Hab, Ind, fmin, fp, fmax, banda, dBA) % >%
  gather(parametro, Hz, -Hab, -Ind, -dBA) % >%
  data.frame % >%
  ggplot(aes(x = dBA, y = Hz)) +
  geom_point() + # Gráfica de dispersión
  stat_smooth(method = lm, col = "black") +
  facet_wrap(~parametro, scales = "free_y") +
```

```

theme_classic() +
theme(legend.position = "")

## ----- y = FRECUENCIAS en función de x = hábitat ----
promedios %>%
  select(Hab, Ind, banda, fmax, fmin, fp) %>%
  gather(parametro, Hz, ~Hab, ~Ind) %>%
  data.frame %>%
  ggplot(aes(x = Hab, y = Hz, fill = Hab)) +
  geom_boxplot() + # Gráficas de cajas y alambres
  geom_point() +
  facet_wrap(~parametro, scales = "free_y") +
  theme_classic() +
  theme(legend.position = "")

## ----- INCIDENCIA del canto
# Gráfica de regresión logística binaria
predictor %>%
  ggplot(aes(x=dBA, y=Pre, color=Hab)) +
  xlab("dBA") +
  ylab("Incidencia") +
  geom_point(aes(y=Inc, alpha=.5)) + # Gráfica de puntos
  geom_line(size=1) + # Pendientes
  theme_minimal() +
  theme(legend.position = "none") +
  guides(color="none")

## ----- REPERTORIO silábico
# Dendrograma
par(family = "serif")
par(mar = c(4,1,1,5))
matriz[c(-1,-2)] %>%
  decostand("norm") %>%
  vegdist("euclidean") %>%
  hclust("average") %>%
  as.dendrogram() %>%
  set("branches_lwd", c(2,2,2,2)) %>%
  set("branches_lty", c(rep(2, 10),
                        rep(3, 16),
                        rep(1, 16),
                        rep(4, 20))) %>%

  plot(h = T)
mtext(" ", 1, -2, 0, -.1, pch = 16, cex = 2)
mtext(" ", 1, -4, 0, -.1, pch = 16, cex = 2)
mtext(" ", 1, -19, 0, -.1, pch = 16, cex = 2)

# Gráfica de Shepard
elevacion <- ruido$dBA
par(family="serif")
plot(modNMDS, type="n", main="Hábitat",
      xaxt = "n", yaxt = "n",
      xlab = "", ylab = "")

```

```

ordisurf(modNMDS,elevacion,main="",col="black",
        xaxt = "n", yaxt = "n",
        xlab = "", ylab = "")
ordihull(modNMDS,groups=matriz$Habitat,draw="polygon",
        col="gray",label=F)
ordispider(modNMDS,group=matriz$Habitat,
        col="black",lwd=2)
points(modNMDS,select=which(matriz$Habitat=="r"),
        col="black",pch=16,cex=1.5)
points(modNMDS,select=which(matriz$Habitat=="s"),
        col="black",pch=16,cex=1.5)
points(modNMDS,select=which(matriz$Habitat=="u"),
        col="black",pch=16,cex=1.5)
text(-0.1, -.15, "R", cex = 1.5)
text(-.08, .15, "S", cex = 1.5)
text(.15, -.1, "U", cex = 1.5)
mtext("NMDS1", 1,1, cex = 1.5)
mtext("NMDS2", 2,1, cex = 1.5)

```

## Mapa

```

## Paquetes
c("raster", "maps", "mapdata", "dismo") %>%
  sapply(require, character.only = T)

# Ubicar un punto central entre los tres hábitat
map <- get_map(location = "Volcan el cuexcomate",
              zoom = 12,
              maptype = "terrain-lines")

# Mapa de puebla
puebla <- ggmap(map,extent="device",
              darken = c(0, "black")) +
  geom_point(data=coord,
            aes(coord[,1],coord[,2],
               colour=promedios$dBA),
            alpha = 0.6,
            show_guide =FALSE,size=7)

## Escala de colores del verde (35 dBA) al rojo (75 dBA)
puebla <- puebla +
  scale_colour_continuous(low = "green",
                          high = "red",
                          space = "Lab",
                          guide = "colorbar")

# Mapa
puebla

```

En este script solo muestro los códigos para análisis y gráficas, en la siguiente página: <https://github.com/Evilkrizz1/Tesis> es posible obtener los códigos sobre el manejo de datos.