



**Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo**



Facultad de Biología

Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas

**Variación en la morfología y conducta vocal entre
poblaciones del Rascador viejita, *Melospiza fusca* (aves)
frente a la urbanización**

Tesis que presenta:

Biol. Bianca América Villalobos Ponce

Como requisito para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias Biológicas

Director de tesis:

Dr. Javier Salgado Ortiz



Morelia Michoacán, junio 2026.

“A lo largo de cinco años, entre miles de minutos de cantos grabados y más de un centenar de individuos capturados, esta tesis nació de la simple curiosidad de conocer la siguiente temporada de una novela de guerra y amor que comencé a observar en el año 2020 al lado de un colega que, para mí, ha sido un mentor de profesión y, muchas veces, también de vida.

Esta es la historia de unos simpáticos machos de Melozone fusca peleando por obtener la mejor percha, el jardín más verde y, como perfectos machos, a la mejor hembra. Por ello, no diré que fueron simplemente mi objeto de estudio; fueron los protagonistas de su propia vida, mostrándome situaciones sorprendentemente familiares para quienes pertenecemos a Homo sapiens.

Con el tiempo, ya no nos interesaba únicamente conocer de cuántos metros cuadrados eran guardianes, sino descubrir la historia que contaban a través de sus cantos. Y fue justamente ahí donde comenzó la ciencia.

Para conocer la historia completa de cualquier ser vivo es necesario aprender a respetar su forma de existir y aprender el arte de la observación y la curiosidad, los cuales considero que son, los dos fundamentos de un buen etólogo”.

-Inspirada en la filosofía de Tinbergen y Lorenz.

*A mi mamá y mi abuela
por darme todo lo mejor que tenían
y que yo me atreviera a soñar y
lograr todo lo que para ellas fue prohibido.
Las amo.*

*A cada persona que me brindo su apoyo
en el camino de este gran reto de estudiar una maestría.
Amigas y colegas con miles de ánimos
y oraciones echadas para que siguiera adelante con el proyecto.*

*A mis hermanos y hermanas
que desde su genuina admiración
sin entender de que fue todo esto,
pusieron su granito de arena desde sus trincheras
para que yo pudiera seguir en este trabajo.*

*Y, sobre todo, este trabajo está dedicado a la versión de mí
que siempre supo que quería cursar un posgrado
sin importarle cuán difícil fue entrar, permanecer y terminar este proyecto.*

¡Lo logramos!

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada para poder continuar con mi formación académica, sin la cual hubiese sido imposible cursar un posgrado de este nivel.

A la Coordinación de Investigación Científica (CIC) de la UMSNH por el financiamiento otorgado para el proyecto.

Al Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas (PIMCB) por permitirme ser parte de la 18va generación (2024-2026).

A la Dra. Marlen Gomez Peralta, por permitirnos hacer uso de sus instalaciones para trabajar.

Al Dr. Alberto Gómez-Tagle Chávez que sin ser parte del comité me brindo apoyo teórico y práctico en el desarrollo del proyecto. Mil gracias.

A los miembros de mi comité evaluador:

Dra. Clementina González Zaragoza por sus valiosas revisiones y sugerencias para mejorar este trabajo.

Dr. José Roberto Sosa López por su apoyo e interés para realizar los análisis, y brindarme capacitación teorica del tema.

Al Dr. José Fernando Villaseñor Gómez. Porque me dejo una gran lección de vida con su manera de evaluar mis tutorales y por ayudarme con las correcciones de mi trabajo, por todo el apoyo moral brindado, muchas gracias.

Al Dr. Tiberio Cesar Monterubio Rico por aportar y rescatar lo bueno en cada tutorial.

A mi asesor, Dr. Javier Salgado Ortiz (Javier). Con quien no tengo palabras que expresen lo agradecida que estoy por la confianza de aceptarme como alumna de maestria. Por el cariño y la paciencia que me tuvo. Por los miles de consejos y animos que me dio, cuando todo se puso complicado y por no soltarme a pesar de la distancia y el desanimo que tuve en algún momento. Gracias por ser más que un mentor.

A los miembros del laboratorio de ornitología, que se convirtieron en mi segunda familia en Morelia. Sin el apoyo de ustedes esto no habría sido posible. Por la motivación, por los ratos de chisme en la cocina. Gracias

A los biólogos Panchito y a David por apoyarme en el trabajo de campo.

Índice

RESUMEN GENERAL	9
SUMMARY	10
INTRODUCCION GENERAL	11
HIPÓTESIS	14
OBJETIVOS	15
Objetivos Particulares	15
MÉTODOS	16
LITERATURA CITADA	18
CAPITULO I.....	24
Variaciones morfológicas del Rascador Viejita (<i>Melozona fusca</i> ; <i>Passerellidae</i> , aves) entre poblaciones asociadas a áreas urbanas vs áreas no urbanizadas.....	24
RESUMEN.....	25
ABSTRACT	26
INTRODUCCIÓN.....	27
MÉTODOS	32
Sitios de estudio.....	32
Colecta de datos	32
Estimación de Indices	34
Índice de Masa Escalada SMI.....	34
Calculo de NDVI	34
Estimación de la temperatura superficial terrestre (LTS).....	35
Análisis Estadísticos.....	36
RESULTADOS	38
Correlacion entre NDVI y LTS	38
Análisis Componentes principales.....	38
Gradiente (G).....	38
Pico	39
Tamaño/ proporción corporal.....	39
Evaluacion de los efectos ambientales sobre la variación morfológica.....	40
DISCUSIÓN.....	45
CONCLUSIÓN.....	50
REFERENCIAS	51
CAPITULO II.....	63

Fenología y estructura del canto en poblaciones urbanas y no urbanas del Rascador viejita (<i>Melospiza fusca</i> , Passerellidae: aves).....	63
RESUMEN.....	64
ABSTRACT	65
INTRODUCCIÓN.....	66
MÉTODOS	72
Objetivo 1: Fenología matutina del canto	72
Trabajo de campo.....	72
Análisis Acustico.....	74
Análisis Estadístico	75
Relación de patrones de canto con variables ambientales.....	75
Objetivo 2: Estructura y repertorio de cantos.....	75
Análisis de vocalizaciones	76
Análisis estadístico	78
RESULTADOS	80
Objetivo 1: Fenología del canto matutino	80
Asociación de variables ambientales	81
Objetivo 2: Estructura y repertorio de cantos.....	84
DISCUSIÓN.....	88
CONCLUSIÓN.....	92
REFERENCIAS	93

Figura 1. Fotografías de la especie Rascador Viejita (<i>Melozone fusca</i>).....	17
Figura 2. Distribución geográfica de <i>Melozone fusca</i> . Mapa tomado de Johnson et al. (2025). Canyon Towhee (<i>Melozone fusca</i>), version 2.0. In Birds of the World (N. D. Sly, Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.....	17
Figura 3. Mapa de ubicación de los sitios de captura de individuos en los distintos municipios del estado de Michoacán.	32
Figura 4. Representación gráfica de las variables medidas en individuos de <i>Melozone fusca</i> . 1 culmen expuesto (largo del pico desde la base), 2 culmen (largo del pico desde las narinas), 3 ancho del pico, 4 profundidad del pico, 5 largo del tarso, 6 cuerda	33
Figura 5. Relación entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la temperatura superficial terrestre (LTS). Los sitios en gradiente de verde se ubican en áreas no-urbanas, mientras que los rojos se ubican dentro de la zona urbana de M.....	38
Figura 6. a) Relación del Índice de Masa Escalda (MSI) y el gradiente ambiental (G). b) Relación de la Temperatura Superficial Terrestre con la proporción Ala-Tarso.....	43
Figura 7. a) Relación del culmen expuesto y valores del índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). b) Relación de la Temperatura Superficial Terrestre con la proporción Ala-Tarso.	44
Figura 8. Ubicación de los sitios de estudio dentro de los municipios de Morelia y Acuitzio del Canje. Las imágenes satelitales representan los sitios donde se ubicaron los territorios de <i>Melozone fusca</i>	73
Figura 9. Espectrogramas de dos cantos distintos de un macho de <i>Melozone fusca</i> a) que muestran la combinación de distintas notas y elementos en un mismo canto. b) Espectrograma de un trino donde se muestra la estructura donde se repite un solo tipo de sílaba.....	77
Figura 10. Espectrograma de un trino de <i>Melozone fusca</i> donde se muestran las métricas que fueron consideradas para fines comparativos entre individuos de sitios urbanos vs silvestres.....	78
Figura 11. Fenología y frecuencia de cantos emitidos por el Rascador Viejita (<i>M. fusca</i>) durante el periodo entre 04:00 y 06:30 en sitios urbanos vs silvestres.....	81
Figura 12. Comparación de variables ambientales (Porcentaje de humedad relativa, Ruido instantáneo, Luminosidad nocturna y Temperatura °C) entre los territorios ubicados en sitios urbanos y no-urbanos de los machos de <i>M. fusca</i>	82
Figura 13. Agrupación de los valores de CP1 representando las condiciones de luz nocturna, ruido, temperatura y porcentaje de humedad relativa en cada zona de estudio.	83

Tabla 1. Resultados del ACP de las medidas tomadas en el pico. Los resultados marcados con un * representan la variable con mayor contribución a cada componentel	39
Tabla 2 Modelos lineales mixtos para variables morfológicas evaluados en machos de M. fusca (N=83). El mejor modelo se destaca en negritas.....	40
Tabla 3. Modelos lineales (LM) ajustados para variables morfológicas del pico en aquellos casos donde los modelos mixtos presentaron ajustes singulares, indicando una varianza cercana a cero en el efecto aleatorio de sitio. El mejor modelo se destaca en negritas	41
Tabla 4. Coeficientes de los modelos mejor ajustados (según AIC) para las variables morfológicas de M. fusca en relación con los predictores ambientales. Se indican en negritas los efectos significativos ($p < 0.05$).....	42
Tabla 5. Coeficientes de variación de los modelos relacionados a la longitud del pico de los machos de M. fusca. Se resalta en negritas las variables que resultaron significativas a la variable ambiental modelada.....	44
Tabla 6. Correlación entre variables ambientales medidas en los territorios de machos de la especie M. fusca.....	82
Tabla 7. Resultados de los modelos lineales de la fenología del coro matutino de los machos de M. fusca asociado a distintas variables ambientales (Luminosidad nocturna, ruido, temperatura y porcentaje de humedad relativa).....	83
Tabla 8. Promedio de tipos de trinos emitidos por los machos de M. fusca en los distintos sitios urbanos y No-urbanos comparados.	84
Tabla 9. Proporción de los tipos de trino emitidos por los machos de M. fusca sin distinción de sitio (urbano y no-urbano).	85
Tabla 10. Modelos de respuesta de variables acústicas del canto de M. fusca con relación a variables ambientales. Se resalta en negrita el mejor modelo con el Criterio de Acaike (ΔAIC).....	86

RESUMEN GENERAL

La modificación del entorno natural ha ocurrido a lo largo de la historia y en el Antropoceno se ha intensificado a un ritmo sin precedentes, generando una pérdida acelerada de ecosistemas naturales. Se prevé que el Continente Americano será una de las regiones más afectadas hacia 2030. Estos cambios ambientales producen nuevas condiciones bióticas y abióticas ante las cuales algunos organismos logran ajustarse mediante distintos mecanismos de plasticidad ecológica, mientras que otros, particularmente las especies más especializadas, enfrentan declives poblacionales e incluso extirpaciones locales o extinciones globales cuando la pérdida de hábitat ocurre a gran escala. Las aves no son ajenas a este escenario de transformación ambiental.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las respuestas de adaptación a nivel morfológico y conductual de poblaciones de *Melospiza fusca* en sitios de la ciudad de Morelia, considerada un ambiente urbanizado y otros lugares cercanos donde el proceso de urbanización como tal, no es evidente.

Nuestros resultados evidenciaron cambios y tendencias de diferenciación en la morfología de los machos, así como variaciones en los horarios del coro matutino. Además, se registró una amplia diversidad de tipos de canto, incluyendo diferencias en notas dentro del canto entre poblaciones urbanas y no urbanas.

En conjunto, los hallazgos aportan evidencia que respalda la hipótesis de que los ambientes antropizados pueden actuar como una presión de selección, favoreciendo determinadas características morfológicas y conductuales en las poblaciones que persisten bajo condiciones urbanas.

Palabras clave: Urbanización, Morfología, Coro matutino

SUMMARY

The modification of natural environments has occurred throughout history, but in the Anthropocene it has intensified at an unprecedented rate, leading to an accelerated loss of natural ecosystems. It is predicted that the American continent will be one of the most affected regions by 2030. These environmental changes generate new biotic and abiotic conditions to which some organisms can adjust through various mechanisms of ecological plasticity, while others —particularly the most specialized species— face population declines and even local extirpations or global extinctions when habitat loss occurs on a large scale. Birds are not exempt from this scenario of environmental transformation.

In this context, the present study aimed to evaluate the morphological and behavioral adaptation responses of *Melospiza fusca* populations in sites within the city of Morelia —considered an urbanized environment— and in other nearby locations where the urbanization process is not evident.

Our results revealed changes and trends of differentiation in male morphology, as well as variations in the timing of the morning chorus. Additionally, a wide diversity of song types was recorded, including differences in the notes within songs between urban and non-urban populations.

Overall, these findings provide evidence supporting the hypothesis that anthropized environments can act as a selective pressure, favoring specific morphological and behavioral traits in populations that persist under urban conditions.

Keywords: Urbanization, Morphology, Morning Choir

INTRODUCCION GENERAL

La urbanización es un proceso de transformación de paisajes naturales en espacios cubiertos en su mayoría por construcciones que brindan servicios y hacen factibles diversas actividades humanas (Dumouchel, 1975; INEGI, 2025). El proceso de urbanización es una de las causas principales de la perturbación y reducción de ecosistemas naturales, modificando la estructura de comunidades y procesos ecológicos y evolutivos de los organismos presentes en los habitats originales (Marzluff, 2001; Hongyu et al., 2024). Con el proceso de urbanización, además de la pérdida de hábitat, se crean nuevas condiciones ambientales (Montague et al., 2023); estas incluyen la presencia permanente de población humana además de contaminantes y estresores, tales como residuos sólidos, contaminación química, contaminación acústica, y luz artificial nocturna (LAN, o ALAN por su acrónimo en inglés ALAN “artificial light at night”) (Fahrig y Rytwinski 2009; Biamonte et al. 2011); tales condiciones están vinculadas con cambios ecológicos, fenotípicos, fisiológicos y conductuales (Isaksson, 2018; Shochat et al. 2006; Seress y Liker 2015), que inciden directamente sobre el éxito reproductivo (Hinam y Clair 2008), la supervivencia y distribución de las comunidades animales (Bojorges 2009). Para el caso de las aves, de las aproximadamente diezmil especies descritas a nivel mundial, cerca del 20% se encuentran asociadas a habitats urbanos (Aronson et al., 2014). De acuerdo a su grado de dependencia a los recursos antropogenicos se reconocen tres grupos: evasivas, adaptadoras (suburbanas) y explotadoras urbanas (Blair 1996). A si mismo, algunas de esas especies presentan habitos especialistas, y dependen de uno o pocos tipos de hábitat, haciéndolas más susceptibles a la extinción local ante la modificación del habitat (Brouat et al. 2004; Devictor et al., 2007) debido a su limitada capacidad de adaptarse a las alteraciones del habitat. En contraste otras especies muestran mayor resiliencia y plasticidad ecológica a las nuevas condiciones ambientales (Abilhoa y Amorin 2017; Guetté, et al., 2017; Franzoi et al., 2021) pudiendo persistir en espacios urbanizados y hacer uso de los recursos disponibles (Mills, 1989; Amaya-Espinel et al., 2019; Spotswood et al., 2021). Dentro de estos grupos de aves pueden incluirse incluso algunas migratorias y especies bajo alguna categoría de riesgo (Olarte y

Molina, 2009; Seto et al. 2012). En este contexto, evaluar el nivel de impacto de la urbanización sobre las especies depende en gran medida del grado de perturbación del hábitat en el tiempo y espacio, así como de las características propias de cada especie en particular (Newmark, 2006), construyendo una aproximación clave de las respuestas adaptativas y de esta forma planificar el desarrollo dentro de las ciudades.

En este sentido se han desarrollado diversos trabajos de investigación que miden los impactos de la urbanización reflejados en aspectos biológicos y ecológicos, abordando distintos niveles de organización biológica, desde características fisiológicas particulares de cada especie hasta el ensamblaje de una de comunidad. Tal es el caso de algunos vertebrados que a pesar de que pueden adaptarse exitosamente a los entornos urbanos, desarrollando mecanismos que les permiten manejar o mitigar los factores estresantes asociados con la vida en la ciudad a largo plazo (Costantini et al., 2014; Rebolo-Ifrán, et al. 2015; Cavalli et al., 2018; Iglesias-Carrasco et al., 2020;), esta situación puede resultar diferente en algunas especies y estadios de desarrollo particulares (Redondo et al., 2021) y variar según el contexto específico y desde luego los métodos utilizados para evaluar los distintos factores.

A nivel fisiológico Por ejemplo, en algunas especies de aves como el Gorrión de collar Rufo (*Zonotrichia capensis*) y el Avefría Sureña (*Vanellus chilensis*) se encontró que los individuos de zonas urbanas, presentan una proporción más alta de heterófilos y una menor de linfocitos, resultando en un índice de estrés H/L más elevado en comparación con las aves rurales o las que se reproducen en paisajes con menores cantidades de cobertura forestal (Ruiz et al., 2002; Hinam et al., 2008; Quirici et al., 2023). Al considerar otros parámetros relacionados con el estrés, como el nivel de corticosterona plasmático, también se ha observado que el nivel es mayor en poblaciones urbanas (Quirici et al., 2023), por ejemplo, los niveles de corticosterona de las plumas de gorriones domésticos (*Passer domesticus*) (Beaugeard et al., 2019) y los niveles de metabolitos de corticosterona fecal de Mirlos de alas rojas (*Agelaius phoeniceus*) (Buxton et al., 2018).

En un nivel etológico como lo es la defensa de territorios, puede implicar un gasto energético diferente dependiendo del entorno natural en el que se encuentren; los

territorios pueden variar de tamaño, lo que implicaría un gasto energético y una adaptación distinta (Brown, 1964; Golabek et al., 2012; Justino et al., 2012) según las condiciones del entorno. Por ejemplo, para la defensa de un territorio algunas especies, se adaptan de manera positiva mostrando, territorios de mayor tamaño y de manera permanente a medida que incrementa el grado de urbanización (Davies y Sewall 2016; Juárez et al. 2020; Villalobos-Ponce 2023), hecho que podría estar relacionado directamente con el tamaño corporal y las aptitudes físicas desarrolladas por los machos para defender territorios más grandes, y los patrones de vocalización que anuncian la presencia de individuos territoriales (Slabekoom y Boer-Visser, 2006; Moíron et al. 2015; Narango y Rodewald, 2016) y a su vez algunas de las características de la estructura vocal de las aves (p. ej., frecuencia y duración) se han relacionado con el tamaño corporal y particularmente con el tamaño del pico de los individuos (Podos 2001 , 2010).

La conducta vocal de los individuos también podría verse afectada en su hora de inicio, directamente por la luz artificial y la contaminación acústica (Foppen et al., 2024). Respecto a los impactos generados causados en las aves debido a la urbanización aún hay un gran campo de estudio por cubrir es por ello que en el presente trabajo se tiene como objetivo evaluar el efecto de la urbanización en el Rascador Viejita. (*Melospiza fusca*) en distintos niveles: 1) cambios morfológicos, 2) en la conducta fenológica del coro matutino y 3) en la descripción y estructura del coro matutino del mismo, en comparación con poblaciones fuera de la zona urbana.

HIPÓTESIS

Las distintas condiciones ambientales presentes en las zonas urbanas como la temperatura, cobertura forestal, contaminación acústica y lumínica; que difieren a las presentes en sitios no urbanos, promueven diferentes respuestas de adaptación que se ven reflejadas en la morfología y patrones de conducta del Rascador viejita (*Melozona fusca*).

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar las respuestas de adaptación a entornos urbanos de distintas poblaciones de *Melospiza fusca*, a nivel morfológico y conductual

Objetivos Particulares

- Determinar si existen variaciones morfológicas entre poblaciones de *Melospiza fusca* en sitios urbanos y no urbanos.
- Determinar la variación de la cronología y frecuencia del canto matutino, así como describir la variación vocal de poblaciones del *Melospiza fusca* en ambientes urbanos vs no urbanos.

MÉTODOS

Para los fines del estudio sobre el impacto de la urbanización sobre el Rascador Viejita (*Melospiza fusca*) este trabajo se integró en dos capítulos. El primer capítulo incluye información general sobre los factores ambientales que influyen en los diferentes cambios morfológicos que se tienen reportados en algunas especies de aves; la información introductoria describe la comparación realizada entre poblaciones urbanas y no urbanas del Rascador Viejita, considerando como variables de respuesta el tamaño de distintas partes del cuerpo de los individuos y como variables explicativas factores ambientales asociados a los sitios de estudio. Planteamos la pregunta de investigación de si las condiciones ambientales propia de los sitios urbanos promueven diferencias morfométricas en los individuos en contraste con sus congéneres de zonas no urbanizadas.

El capítulo 2 analiza factores conductuales, particularmente la conducta del coro matutino y estructura vocal con relación a parámetros de ruido y luminosidad. En este capítulo se plantea la pregunta de si los individuos que habitan sitios urbanos muestran variaciones en la conducta de vocalizaciones antes y al amanecer, en respuesta a la contaminación acústica y lumínica propia de las áreas urbanas y se compararon los patrones con individuos de poblaciones no-urbanas. Por otro lado, se describen las variaciones en la estructura vocal entre individuos asociados a las áreas urbanas en comparación con los de sitios no urbanizados.

La especie de estudio fue *Melospiza fusca* (Figura 1), comúnmente conocida como Rascador viejita, ubicada taxonómicamente en el Orden de los Paseriformes y dentro de la Familia Passerellidae (Chesser et al., 2018). Los individuos de esta especie presentan un tamaño en promedio de 19.0 a 22.5 cm y no presentan dimorfismo sexual aparente por plumaje (Howell y Webb, 1995). Tiene una amplia distribución en México y Estados Unidos en donde habita generalmente en zonas templadas, tropicales y subtropicales entre los 1500 y 3050 msnm (Figura 2); el tipo de vegetación donde puede habitar es variado, incluyendo en zonas rurales alrededor de cobertizos, gallineros, en las cercas de troncos alrededor de los campos de maíz

y en madera de desecho. Su hábitat preferente está representado por zonas arbustivas, pero en México también se le encuentra en zonas urbanas altamente pobladas o densas donde hay jardines, arbolado y áreas verdes (Johnson y Haigh, 2020). Por lo general se le encuentra en parejas y defiende territorios cuya estrategia principal se asocia a la emisión de cantos y llamados, teniendo poca interacción física directa (peleas entre machos) (Marshall, 1964; Johnson y Haigh, 2020; Villalobos-Ponce 2023).



Figura 1. Fotografías de la especie Rascador Viejita (*Melospiza fusca*)



Figura 2. Distribución geográfica de *Melospiza fusca*. Mapa tomado de Johnson et al. (2025). Canyon Towhee (*Melospiza fusca*), version 2.0. In Birds of the World (N. D. Sly, Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA

LITERATURA CITADA

- Abilhoa, V. y Amorin, R. (2017). Effects of urbanization on the avian community in a southern Brazilian city. *Revista Brasileira de Ornitología*, 25, 31-39.
- Amaya-Espinel, J. D., Hostetler, M., Henríquez, C., y Bonacic, C. (2019). The influence of building density on Neotropical bird communities found in small urban parks. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103578.
- Aronson, M. F. J., La Sorte, F. A., Nilon, C. H., Katti, M., Goddard, M. A., Lepczyk, C. A., Winter, M. (2014). A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1780), 20133330. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3330>
- Beaugeard, E., Brischoux, F., Henry, P. Y., Parenteau, C., Trouvé, C., y Angelier, F. (2019). Does urbanization cause stress in wild birds during development? Insights from feather corticosterone levels in juvenile house sparrows (*Passer domesticus*). *Ecology and evolution*, 9(1), 640-652.
- Biamonte, E., Sandoval, L., Chacón, E., y Barrantes, G. (2011). Effect of urbanization on the avifauna in a tropical metropolitan area. *Landscape Ecology*, 26(2), 183-194.
- Blair, R. B. (1996). Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological applications*, 6 (2), 506-519.
- Bojorges B. J. C. 2009. Amenazando la biodiversidad: Urbanización y sus efectos en la avifauna. *Ciencia y Mar* 2009, 13 (39) 61-65.
- Brouat, C., H. Chevallier, S. Meusnier, T. Noblecourt, and J.Y. Rasplus. (2004). Specialization and habitat: spatial and environmental effects on abundance and genetic diversity of forest generalist and specialist *Carabus* species. *Molecular Ecology* 13:1815–1826.

- Brown, J. M. (1964). The evolution of diversity in avian territorial systems. *The Wilson Bulletin*, 76(2), 160-169.
- Buxton, V. L., Santymire, R. M., y Benson, T. J. (2018). Mixed effects of urbanization on density, nest survival, and nestling corticosterone of a generalist passerine. *Ecosphere*, 9(12), e02517.
- Cavalli, M., Baladrón, A. V., Isacch, J. P., Biondi, L. M., y Bó, M. S. (2018). The role of habituation in the adjustment to urban life: An experimental approach with burrowing owls. *Behavioural processes*, 157, 250-255.
- Chesser, R. T., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W., Lovette, I. J., Rasmussen, P. C., Remsen, J. V., Jr., Stotz, D. F., Winger, B. M. y Winker, K. (2018). Check-list of North American Birds (online). American Ornithological Society.
- Costantini, D., Greives, T. J., Hau, M., Partecke, J. (2014). Does urban life change blood oxidative status in birds? *Journal of Experimental Biology*, 217(17), 2994-2997.
- Davies, S., y Sewall, K. B. (2016). Agonistic urban birds: elevated territorial aggression of urban song sparrows is individually consistent within a breeding period. *Biology letters*, 12(6), 20160315.
- Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D., Lee, A., y Jiguet, F. (2007). Functional Homogenization Effect of Urbanization on Bird Communities. *Conservation Biology*, 21(3), 741–751.
- Dumouchel, J. R. (1975). Dictionary of development terminology; the technical language of builders, lenders, architects and planners, investors, real estate brokers and attorneys, appraisers, land taxing and zoning authorities, government officials, community organizers, housing managers, urban renewal specialists. McGraw-Hill, New York.

- Fahrig, L., y Rytwinski, T. (2009). Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society* 14(1): 21. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art21/>
- Foppen K, Pinxten R, Meijdam M, Eens M. (2024). Artificial Light at Night Advances the Onset of Vocal Activity in Both Male and Female Great Tits During the Breeding Season, While Noise Pollution Has Less Impact and Only in Females. *Animals (Basel)*. 14(22):3199.
- Franzoi D. G., Suertegaray F. C., de Sales D. C., (2021) Estimating the impacts of habitat loss induced by urbanization on bird local extinctions. *Biological Conservation*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109064>
- Golabek, K. A., Ridley, A. R., y Radford A. N. (2012). Food availability affects strength of seasonal territorial behaviour in a cooperatively breeding bird. *Animal Behaviour*, 83(3), 613 - 619.
- Guetté, A., Gaüzère, P., Devictor, V., Jiguet, F., y Godet, L. (2017). Measuring the synanthropy of species and communities to monitor the effects of urbanization on biodiversity. *Ecological Indicators*, 79, 139–154.
- Hinam, H. L., y Clair, C. C. S. (2008). High levels of habitat loss and fragmentation limit reproductive success by reducing home range size and provisioning rates of Northern saw-whet owls. *Biological Conservation*, 141(2), 524-535.
- Hongyu, N., Lu, C., Hengyue, Z., Gulzar, A., y Hongmao, Z. (2024). Effects of urbanization on animals: from community to individual level. *Biodiversity Science*, 32(8), 23489.
- Howell, S. N. G. y Webb, S. (1995). *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press. New York. 851.
- Iglesias-Carrasco, M., Aich, U., Jennions, M. D., y Head, M. L. (2020). Stress in the city: meta-analysis indicates no overall evidence for stress in urban vertebrates. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1936), 20201754.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2025). Grado de urbanización en México 2020. DEGURBA. Implementación de la metodología para la delimitación de ciudades, pueblos, suburbios y zonas rurales. En <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463923305>
- Isaksson, C. (2018). Impact of urbanization on birds (pp. 235-252). In D. T. Tietze (Ed.), Bird species: How they arise, modify and vanish. Springer Nature. doi.org/10.1007/978-3-319-91689-7
- Johnson, R. R. y L. T. Haight (2020). Canyon Towhee (*Melospiza fusca*), version 1.0. In Birds of the World (A. F. Poole and F. B. Gill, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.
- Juárez, R., Chacón-Madrigal, E. y Sandoval, L. (2020). Urbanization has opposite effects on the territory size of two passerine birds. Avian Research. 11(1), 3-9.
- Justino, D. G., Maruyama, P. K. y Oliveira, P. E. (2012). Floral resource availability and hummingbird territorial behaviour on a Neotropical savanna shrub. Journal of Ornithology. 153, 189-197.
- Marshall, J. T. (1964). Voice in Communication and relationships among Brown Towhees. The Condor. 66(5), 345–356.
- Marzluff, J. M. (2001). Worldwide urbanization and its effects on birds. – In: J. M. Marzluff, R. Bowman and R. Donnelly (eds), Avian ecology and conservation in an urbanizing world. Kluwer Academic Publishers, pp. 19–38.
- Mills, G. S., Dunning Jr, J. B., y Bates, J. M. (1989). Effects of urbanization on breeding bird community structure in southwestern desert habitats. The Condor, 91(2), 416-428.
- Moiron, M., Gonzalez-Lagos, C., Slabbekoorn, H., y Sol, D. (2015). Singing in the city: high song frequencies are no guarantee for urban success in birds. Behavioral Ecology, 26(3), 843-850.

- Montague H.C.; Neate-Clegg; Tonelli B. A., Youngflesh C., Montgomery A., Şekercioğlu C., Tingley M. W. (2023). Traits shaping urban tolerance in birds differ around the world. *Current Biology*, 33 (9), 1677-1688.e6
- Narango, D. L., y Rodewald, A. D. (2016). Urban-associated drivers of song variation along a rural–urban gradient. *Behavioral ecology*, 27(2), 608-616.
- Newmark, W. 2006. A 16-year study of forest disturbance and understory bird community structure and composition in Tanzania. *Conservation Biology* 20:112–134.
- Olarte, J. O., y Molina, L. (2009). A vuelo de pájaro: Las ciudades como refugio para las aves. *Nodo: Arquitectura. Ciudad. Medio Ambiente*, 4(7), 47-58.
- Podos, J. (2001). Correlated Evolution of Morphology and Vocal Signal Structure in Darwin's Finches. *Nature* 409, no. 6817: 185–188.
- Podos, J. (2010). Acoustic Discrimination of Sympatric Morphs in Darwin's Finches: A Behavioural Mechanism for Assortative Mating? *Philosophical Transactions of the Royal Society, B: Biological Sciences* 365 (1543): 1031–1039.
- Quirici, V., Valeris-Chacín, C. E., Parada, P., Cuevas, E., y Wingfield, J. C. (2023). Baseline Corticosterone, Stress Responses, and Leukocyte Profiles in Chicks of Precocial Birds in Rural and Urban Environments. *Life*, 13(11), 2138.
- Rebolo-Ifrán, N., Carrete, M., Sanz-Aguilar, A., Rodríguez-Martínez, S., Cabezas, S., Marchant, T. A., y Tella, J. L. (2015). Links between fear of humans, stress and survival support a non-random distribution of birds among urban and rural habitats. *Scientific Reports*, 5(1), 13723.
- Redondo, I., Muriel, J., de Castro Díaz, C., Aguirre, J. I., Gil, D., y Pérez-Rodríguez, L. (2021). Influence of growing up in the city or near an airport on the physiological stress of tree sparrow nestlings (*Passer montanus*). *European Journal of Wildlife Research*, 67(4), 68.

- Ruiz, G., Rosenmann, M., Novoa, F. F., y Sabat, P. (2002). Hematological parameters and stress index in rufous-collared sparrows dwelling in urban environments. *The Condor*, 104(1), 162-166.
- Seress, G., y Liker, A. (2015). Habitat urbanization and its effects on birds. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 61(4), 373-408.
- Seto, K. C., Guneralp, B., y Hutyrá, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088.
- Shochat, E., Warren P. S., Faeth S. H., McIntyre N. E., Hope D. (2006). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends Ecol. Evol.* 21 (4), 186–191.
- Slabbekoorn, H., y den Boer-Visser, A. (2006). Cities change the songs of birds. *Current biology*, 16(23), 2326-2331.
- Spotswood, E. N., Beller, E. E., Grossinger, R., Grenier, J. L., Heller, N. E., y Aronson, M. F. (2021). The biological deserts fallacy: cities in their landscapes contribute more than we think to regional biodiversity. *Bioscience*, 71(2), 148-160.
- Villalobos-Ponce 2023. Sistema territorial de una población urbana de Rascador viejita (*Melospiza fusca*, Passerellidae; Aves) en Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Repositorio Institucional, UMSNH. México 108 pp.

CAPITULO I

Variaciones morfológicas del Rascador Viejita (*Melozone fusca*; *Passerellidae*, aves) entre poblaciones asociadas a áreas urbanas vs áreas no urbanizadas

Laboratorio de Investigación en Ornitología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo Morelia Michoacán.

RESUMEN

La urbanización es un cambio ambiental que trae consigo consecuencias a distintos niveles en las comunidades de plantas y animales afectando su estructura y funcionamiento dentro del ecosistema. Estas nuevas dinámicas de selección generadas en un ambiente perturbado son un factor imprescindible para evaluar la dinámica evolutiva de los organismos. Nuestro objetivo fue evaluar si la urbanización está promoviendo cambios morfológicos en el Rascador viejita (*Melozona fusca*) dentro y alrededor de la ciudad de Morelia. Para realizar los análisis se midieron seis variables morfológicas [peso, cuerda alar, tarso, largo, ancho y profundidad de pico, así como también se calculó el Índice de masa escalada (MSI), para 83 machos adultos], de diferentes sitios urbanos y no urbanos. Los datos obtenidos fueron analizados mediante modelos lineales mixtos (LMM) con el Sitio como efecto aleatorio y temperatura superficial terrestre (LST), NDVI, así como el CP1 que explica la mayoría de la varianza entre ambas variables, el cual fue nombrado “gradiente”, como efectos fijos. Los modelos mostraron que la cuerda alar y el índice de masa escalado ponderado con la cuerda alar (MSI_W), fueron variables sobre las que el efecto fijo de gradiente urbano tuvo un efecto. Sin embargo, en las comparaciones simples a través de pruebas de Mann–Whitney-U, se observan picos más largos y tarsos más cortos en los machos de zonas urbanas. Estos resultados muestran que además del NDVI y la temperatura superficial terrestre, hay otros factores que podrían estar asociados a los cambios morfológicos, tales como diferentes hábitos de alimentación, grado de competencia y niveles de depredación de la especie en cada sitio. Los resultados suman evidencia a estudios que proponen a la urbanización como agente causante de microevolución a nivel poblacional. En posteriores estudios se plantea considerar aumentar el área de estudio para cubrir una mayor área dentro de la distribución de la especie.

Palabras clave: Morfología, urbanización, NDVI

ABSTRACT

Urbanization is an environmental change that brings with it consequences at various levels for plant and animal communities, affecting their structure and functioning within the ecosystem. These new selection dynamics generated in a disturbed environment are an essential factor for evaluating the evolutionary dynamics of organisms. Our objective was to evaluate whether urbanization is promoting morphological changes in the Canyon Towhee (*Melospiza fusca*) within and around the city of Morelia. To conduct the analyses, six morphological variables were measured [body mass, wing chord, tarsus length, and bill length, width, and depth], along with the calculation of the Scaled Mass Index (MSI), for 83 adult males from different urban and non-urban sites. The data obtained were analyzed using linear mixed models (LMM), with Site as a random effect and land surface temperature (LST), NDVI, as well as the first principal component (PC1) that explained most of the variance between both variables—which was named “gradient”—as fixed effects. The models showed that wing chord and the Scaled Mass Index weighted by wing chord (MSI_W) were variables on which the fixed effect of the urban gradient had a significant influence. However, in the pairwise comparisons using Mann–Whitney U tests, longer bills and shorter tarsi were observed in males from urban areas. These results indicate that, in addition to NDVI and land surface temperature, other factors may be associated with the morphological changes, such as differences in feeding habits, levels of competition, and predation pressure on the species at each site. The findings add evidence to studies proposing urbanization as a driver of microevolution at the population level. In future studies, it is proposed to expand the study area to cover a larger portion of the species’ distribution range.

Keywords: Morphology, urbanization, NDVI

INTRODUCCIÓN

Los procesos de transformación de áreas no-urbanas para el desarrollo de asentamientos humanos a través de la urbanización, generan pérdida de hábitat y fragmentación (Marzluff 2001) sustituyendo la vegetación original por una matriz constituida principalmente por habitaciones, edificios y carreteras (McKinney 2002). Estas transformaciones, además de crear islas de ecosistemas urbanos que restringen el movimiento y conectividad entre poblaciones de áreas aledañas (Lynch y Baker 1994 ; Crooks et al. 2004; Faeth et al., 2011), limitando el flujo genético (Fraser et al., 2019; Cueva et al., 2025), por lo tanto, teniendo consecuencias en la estructura genética de las poblaciones de aves además de la pérdida potencial de diversidad genética (Bouzat et al., 1998; Unfried et al. 2013). Por otro lado, afecta las dinámicas dentro de la red trófica (por ejemplo, dinámica de caza de grandes carnívoros); aumentando la probabilidad de extinción (Loet et al., 2016) y posible especiación por aislamiento en el largo plazo (Gonzalez et al., 2011).

Las ciudades como islas urbanas, presentan factores propios, como luz artificial, ruido antropogénico, aumento en la temperatura y cambios en la disponibilidad de recursos alimenticios que ejercen presiones de selección natural sobre los individuos de especies que habitan estos ambientes (Shochat et al., 2006; Seress y Liker, 2015; Johnson y Munshi-South 2017). Estas presiones predicen cambios morfológicos, etológicos y genéticos, incidiendo directamente sobre el éxito reproductivo, la supervivencia, distribución y abundancia de poblaciones y estructura de las comunidades (Shochat et al., 2006; Bojorges 2009; Seress y Liker, 2015), haciendo de la urbanización un componente importante del cambio global sobre especies y comunidades.

Actualmente se sigue acumulando evidencia de los efectos de la urbanización sobre diversas especies ya que es un fenómeno cuya atención va en aumento y los efectos potenciales documentados no son propios de un grupo en particular de especies (McKinney 2002; Chapman 2003; Pompeu et al., 2005; McKinney 2006; Knapp et al. 2021). Con respecto a cambios morfológicos hay evidencia de que estos pueden

asociarse a factores abióticos resultantes de la urbanización. Por ejemplo, en el caso de pequeños roedores heteromíidos, (*Dipodomys merriami* y *Perognathus flavesceus*), el cambio de temperatura ambiental y los niveles de precipitación han generado modificaciones corporales, con asociaciones de mayor tamaño con relación a temperaturas más altas (Woolf et al., 2009), mientras que por el contrario, en ratas de bosque (*Neotoma albigula*) disminuye el tamaño aproximadamente en un 15% cuando la temperatura aumentó 2.5 a 3 °C dentro de un periodo de ocho años (Koontz et al., 2001). En varias especies de pequeños roedores, analizadas a partir de colecciones de museo, mostraron una disminución de la cavidad nasal (longitud occipital-nasal) posiblemente vinculada a la aparición de recursos alimenticios atraídos por el crecimiento poblacional a lo largo del tiempo (Pergams y Lawler, 2009). En lagartijas se ha observado una disminución en el tamaño principalmente de extremidades corporales como dedos, y número de escamas dorsales; en respuesta al uso de distintos sustratos y un aumento de temperatura en sitios altamente urbanizados (Putman et al., 2019).

Para el caso de las aves, se han reportado cambios en casi todas las partes corporales, por ejemplo, una reducción significativa en el ancho de los tarsos en individuos de *Pitangus sulphuratus*, presentando tarsos más delgados en áreas con mayor intensidad de urbanización (Santos et al., 2023). Estas tasas de cambio fenotípico son mayores en contextos antropogénicos que en contextos naturales generando una rápida adaptación y diferenciación entre poblaciones (Hendry et al., 2008).

En aves, además de los factores abióticos, otro impacto directo de la urbanización es la disponibilidad y calidad de recurso alimenticio (Anderies et al., 2007), que influye directamente en la morfología como por ejemplo el peso y la masa corporal de los individuos, habiendo tendencias de menor tamaño en las ciudades a pesar de ser mayormente generalistas (Neate-Clegg et al., 2023). La urbanización con frecuencia puede resultar en mayor abundancia de alimentos para diversas especies en comparación con hábitats naturales (Marzluff, 2001; Møller, 2009; Lowry et al., 2013; Moiron et al., 2013) beneficiando grupos mejor adaptados (Neate-Clegg et al., 2023). Algunas aves rapaces, por ejemplo, encuentran disponibilidad constante de alimento

(presas) en las ciudades debido a la mayor abundancia de ciertas especies introducidas (palomas, gorriones, roedores, frutas y flores) o más afines a los asentamientos humanos donde por lo general, hay áreas de vegetación frecuentemente regadas y fertilizadas que resultan ser muy productivas (Chace y Walsh, 2006; Muñoz et al., 2007; Boggie y Mannan, 2014). Sin embargo, aunque pueda haber constante disponibilidad de alimento en zonas urbanas, no siempre es de calidad o beneficia a todas las especies existentes por igual en dichas áreas (Preininger et al., 2019; García-Arroyo et al., 2023), ya que en especies como el gorrión orejiblanco (*Melospiza leucotis*) y en picovainas menores (*Chondestes minor*) se ha observado una reducción en su tamaño corporal debido a menor calidad y a posible mayor competencia por los recursos alimenticios (Huyser et al. 2000; Cueva et al., 2025). Algunas especies toman como recurso alimenticio desechos humanos o semillas en comederos (Carvalho y Marini 2007; Plummer et al. 2019), influyendo directamente en su salud y condición corporal (Ribeiro et al., 2020, 2022). La diferencia en condición corporal generada, puede poner en desventaja competitiva a especies más sensibles, generando desplazamiento por especies dominantes y mejor adaptadas a la urbanización (Shochat et al., 2006; Chamberlain et al., 2009).

Además, se ha demostrado que los efectos de la urbanización varían no sólo entre los diferentes grupos de aves y estadios de desarrollo (Heiss et al., 2009; Meillère et al., 2015), sino también están relacionados al tipo y gradiente de urbanización (Evans et al., 2009; Benmazouz et al., 2021; Cueva et al., 2025). Se considera que el entorno urbano es inadecuado para satisfacer las necesidades nutricionales, el crecimiento y el desarrollo de los pollos en su primera etapa de vida (Meillère et al., 2015) y es por esto que, a pesar de tener una fuente constante de alimento, la reducción de la masa corporal es más común en las aves asociadas a zonas urbanas (Ruiz et al., 2002; Liker et al., 2008; Neate-Clegg et al., 2023). Esta reducción puede deberse a las mayores demandas energéticas impuestas por este tipo de hábitat (Ruiz et al., 2002). Por ejemplo, algunas especies deben volar sobre el 50% del área urbanizada para conseguir alimento de calidad como granos enteros de cultivos rurales y esto supone un mayor gasto energético (Shochat et al., 2006; Chamberlain et al., 2009).

La disponibilidad y modificación de recursos alimenticios son también factores que pueden actuar como presiones selectivas sobre los rasgos vinculados a la adquisición de recursos, como el tamaño del pico en el caso particular de las aves (Darwin 1859, Grant y Grant, 1989,2006; Lamichhaney et al. 2016). Estos cambios se ven reflejados, por ejemplo, en longitud, curvatura, ancho y profundidad del pico de especies que habitan áreas altamente urbanizadas (Santos et al., 2023). Asimismo, estudios comparativos han mostrado que la urbanización puede influir en la morfología del pico, aunque estos patrones no son necesariamente consistentes entre especies (Hüppi y Geiger, 2022) ya que los registros sobre los cambios ocurridos en el pico son diferentes entre las familias de aves; por ejemplo, en córvidos se ha documentado un aumento en la longitud y en la curvatura del pico (Kulemeyer et al., 2009). En especies como *Parus major* y *Melospiza leucotis* se han reportado un aumento en la longitud, y disminución en el ancho del pico asociado principalmente al uso de comederos, al consumo de presas más grandes y dietas más generalizadas (Rolshausen et al. 2009; Bosse et al. 2017 ; Hüppi y Geiger 2022 ; Cueva et al., 2025); en el caso del Pinzón mexicano (*Haemorhous mexicanus*) se ha observado que en los ambientes urbanos, la disponibilidad de alimentos más blandos puede estar asociada a cambios en rasgos vinculados a la alimentación en esta especie (Giraudeau et al., 2014), incluyendo modificaciones en la forma y robustez del pico relacionadas con la disponibilidad y dureza de los recursos alimenticios, evidenciando procesos de adaptación y plasticidad fenotípica (de León et al. 2011; Badyaev et al. 2008). En el abanico Maorí (*Rhipidura fuliginosa*) se ha observado que en áreas urbanas más antiguas, los picos son más cortos, más profundos y más anchos que en aquellos que habitan las áreas urbanas y rurales más recientemente establecidas (Amiot et al., 2021). Omitiendo la morfología de las especies, estos cambios en el pico podrían ser el resultado de los nuevos alimentos que consumen y se encuentran disponibles en ambientes urbanos (de León et al. 2011 ; Grant y Grant 2002).

La forma y el tamaño de las alas es un rasgo que también ha sido considerado en otros estudios para evaluar el impacto de la expansión de zonas urbanas (Santos et al., 2023). En los trabajos realizados se han propuesto dos teorías: 1) La modificación del tamaño de las alas en poblaciones urbanas en comparación con las poblaciones

rurales podría, en algunas especies, estar más relacionado con desplazamientos mayores (como sucede en el caso de especies migratorias) (Grilli et al., 2016; Ocampo et al., 2019; Baldwin et al., 2010) en otras puede asociarse a cambios en el clima o microclima por los efectos de urbanización (Evans et al., 2009; Vanhooydonck et al., 2009). A pesar de los reportes sobre la disminución de la masa y el aumento del tamaño corporal es importante evitar la suposición de cambios unidireccionales en la morfología como respuesta a un solo factor ambiental (temperatura) (Dubiner y Meiri 2002; Salewski et al., 2014) por lo que es necesario considerar variables adicionales dentro de sitios urbanos para recabar más evidencias empíricas en el tema y llenar esta laguna de conocimiento en los estudios de urbanización y su impacto en las poblaciones de aves.

El objetivo de este trabajo fue determinar si existen variaciones morfológicas entre poblaciones de *Melospiza fusca* en sitios urbanos y no urbanos. Analizamos la variación morfológica entre poblaciones urbanas y no urbanas (no-urbanos) ya que es una especie común y bien adaptada a estos dos tipos de ambientes: nuestra pregunta para este estudio fue la siguiente: ¿Hay diferencias en variables morfológicas entre poblaciones urbanas y no-urbanos? Hipotetizamos que a consecuencia de las distintas condiciones ambientales generadas por la urbanización como la temperatura superficial, la radiación, la cobertura vegetal y presumiblemente diferentes tipos de recursos alimenticios, encontraremos diferencias en métricas de partes corporales (pico, tarsos, alas, peso) entre los individuos de sitios urbanos y no urbanos.

MÉTODOS

Sitios de estudio

El trabajo de campo fue realizado en distintos sitios con un nivel distinto de antropización, presentando un gradiente variable de composición de vegetación y de cobertura desde sitios ubicados en bosque, agropecuarios, y dentro de la gran mancha urbana en la ciudad de Morelia (Figura 3).

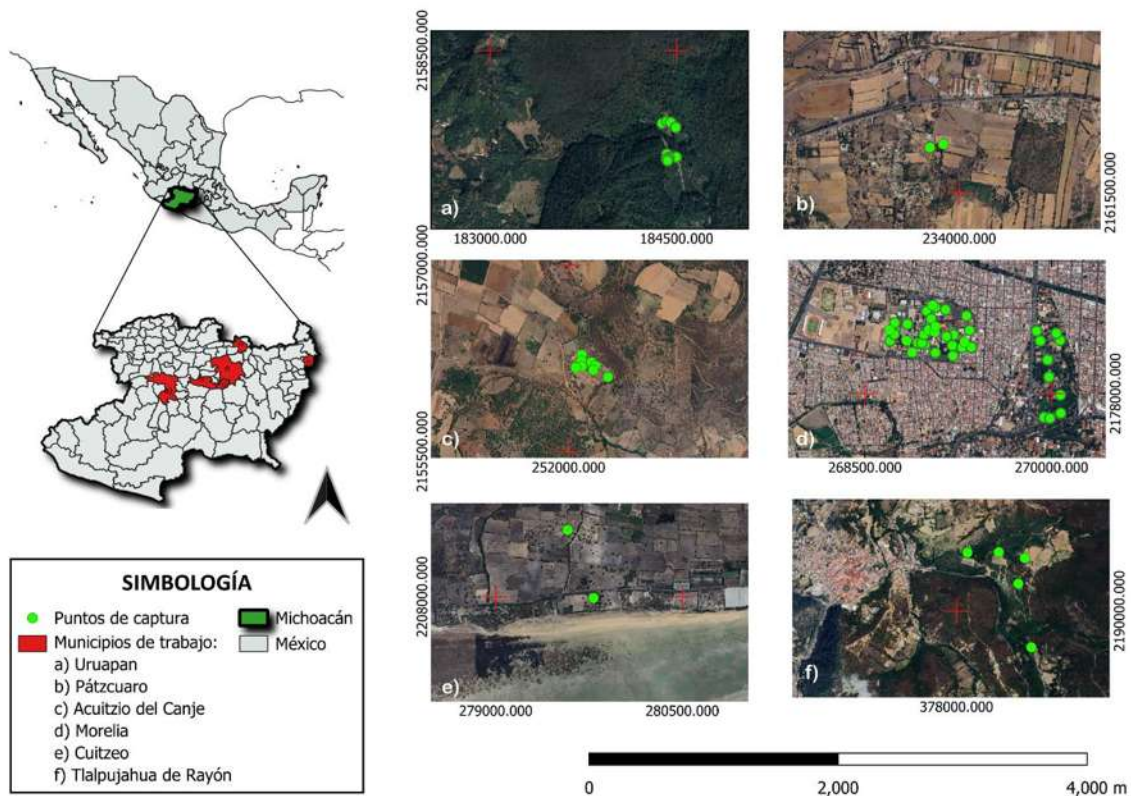


Figura 3. Mapa de ubicación de los sitios de captura de individuos en los distintos municipios del estado de Michoacán.

Colecta de datos

Capturamos individuos utilizando redes de niebla de 6 y 9 metros de longitud, con luz de malla de 30 mm. Las redes fueron colocadas en lugares estratégicos donde se registraban individuos de forma directa o con el uso de playbacks, dentro de los diferentes sitios de estudio (Ralph et al., 1996). Para aumentar la probabilidad de capturas, en combinación con las redes, se utilizaron dos diferentes estímulos: (1) un

señuelo (individuo disecado de la especie *Melospiza fusca*) obtenido de la colección didáctica del Laboratorio de Ornitología de la Universidad Michoacana, acompañado de (2) un playback integrado por una combinación de cantos y llamados de la especie (obtenidos de la aplicación “Merlin” del Laboratorio de Ornitología de Cornell, EUA), o cantos previamente grabados de algunos individuos pertenecientes a las poblaciones de estudio.

A cada individuo capturado se le tomaron datos biométricos, incluyendo: peso; longitud de tarso derecho (desde la articulación intertarsiana hasta la base del hallux); culmen (longitud a partir de las narinas y hasta la punta del pico), culmen expuesto (longitud desde la base del cráneo a la punta del pico) ancho de pico (en la abertura del pico) y profundidad de pico (medida en ángulos rectos hasta el punto de la mandíbula inferior donde terminan las plumas), cuerda alar derecha sin aplanar (distancia de la articulación carpometacarpiana hasta la punta de la pluma primaria más larga), siguiendo algunas de las recomendaciones de Sandoval y Menill (2013) y Santos et al., (2023). Para obtener el peso se utilizó una báscula digital portátil de precisión Acculab Sartorius Group modelo EC-121 de máximo 210 g, para las del pico utilizando un vernier digital modelo Stainless Hardened y una regla de ala de metal modelo CF678 para tomar medidas de ala (Figura 4).

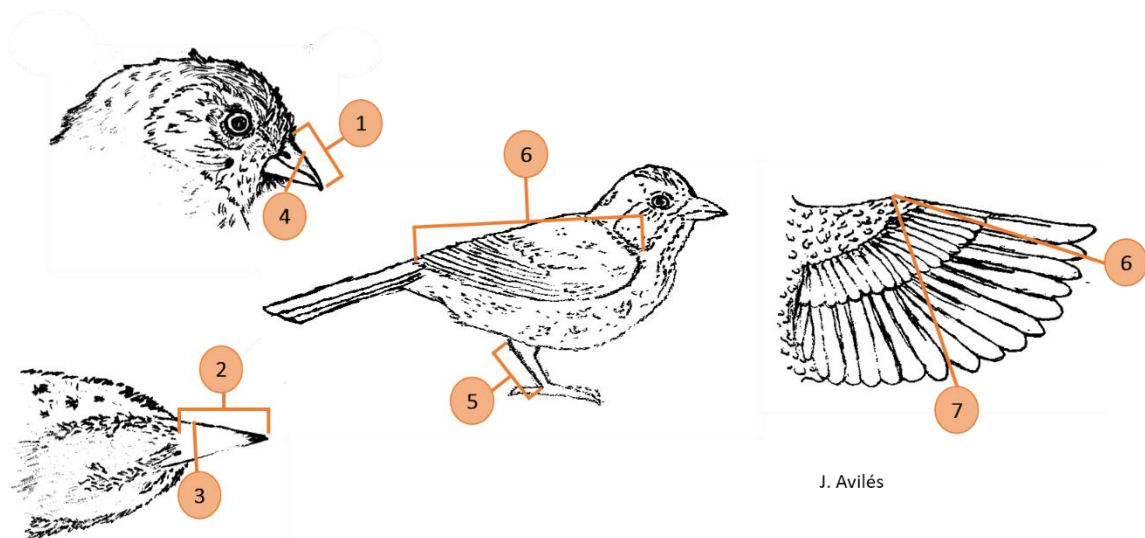


Figura 4. Representación gráfica de las variables medidas en individuos de *Melospiza fusca*. 1 culmen expuesto (largo del pico desde la base), 2 culmen (largo del pico desde las narinas), 3 ancho del pico, 4 profundidad del pico, 5 largo del tarso, 6 cuerda

Estimación de Índices

Índice de Masa Escalada SMI

Con la finalidad de calcular la condición corporal de los individuos, el cálculo de dicho índice se basó en lo propuesto por Peig y Green (2009), índice que ha sido con frecuencia por otros autores. Con este índice se busca corregir la masa de un individuo según su tamaño estructural y con ello ponderar la masa entre individuos de diferentes tamaños, usando una relación alométrica basada en un modelo de regresión log-log (usualmente entre masa y una medida como el largo del tarso o del ala) (Labocha y Hayes, 2012; Rodríguez-Ferraro y Arendt, 2012; Costantini et al., 2013). La forma de calcularlo fue a través de la fórmula:

$$\hat{M} = M_i (L_0/L_i)^{b_{MSA}}$$

Donde:

- $\hat{M}$: La masa ajustada o masa escalada
- M_i : masa corporal medida en el individuo i
- L_i : Medida lineal del cuerpo del individuo i
- L_0 : valor promedio de L_i para toda la muestra
- b_{MSA} : El exponente de escala, obtenido a partir de una regresión log-log SMA (Standardized Major Axis) entre la masa y la medida lineal.

Se calcularon dos valores, sustituyendo la medida lineal del cuerpo (L_i) por los valores de la cuerda alar y del tarso, es decir obtuvimos dos tipos de SMI para cada individuo.

Calculo de NDVI

Para sustituir la clasificación categorica del tipo de sitio (urbano o no-urbano) se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI (por sus siglas en inglés: Normalized Difference Vegetation Index) que es un indicador de verdor o actividad fotosintética de la vegetación, siendo posible identificar y separar la vegetación verde de otras coberturas debido a que la clorofila de la vegetación absorbe luz roja para la fotosíntesis y refleja las longitudes de onda del infrarrojo cercano (NIR) por la

dispersión causada por la estructura interna de las hojas (Effat y Hassan, 2014). Este índice produce valores en el rango de 1 a -1, donde los valores indican el nivel de verdor en las áreas muestreadas.

El NDVI se obtuvo para cada uno de los puntos de captura con un área buffer de 40 metros de diámetro alrededor de ellos, asemejando el tamaño promedio de sus territorios en la zona urbana (Villalobos-Ponce, 2023); se utilizaron las bandas 4 (rojo) y 5 (infrarrojo cercano) de las escenas correspondientes al área de captura, se buscaron las imágenes satelitales con porcentaje menor al 20% de nubosidad tomadas a través de Landsat 8/9, descargadas desde el portal EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Siguiendo la metodología propuesta por Rouse et al. (1974). El procesamiento y cálculo del NDVI se realizó con la calculadora raster del programa QGIS (versión 3.40.6) utilizando la fórmula general:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$$

Donde:

- **NDVI** = el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
- **R_{NIR}** = Reflectancia en el Infrarrojo cercano (0.85 – 0.88 µm) (Banda 5)
- **R_{RED}** = Reflectancia en el rojo del espectro visible (0.63 – 0.68 µm) (Banda 4)

Estimación de la temperatura superficial terrestre (LTS)

La temperatura de la superficie terrestre LST, (Land Surface Temperature por sus siglas en inglés) fue estimada a partir de imágenes de Landsat 8/9 utilizando la banda térmica (banda 10) del sensor TIRS, con escenas de nivel dos del mes de mayo de los años 2020 a 2025, con un porcentaje de nubosidad menor a 10%.

Se aplicó el procedimiento recomendado por el U.S. Geological Survey (USGS), que consiste en convertir los valores digitales (DN) a radiancia espectral mediante los coeficientes de ganancia y sesgo radiométrico incluidos en el archivo de metadatos (MTL), y posteriormente en temperatura de brillo utilizando la ecuación inversa de Planck (USGS, 2019; Avdan y Jovanovska, 2016). Todo el procesamiento se llevó a

cabo en el software R (R versión 4.3.2), utilizando principalmente el paquete terra (Hijmans, 2023) para el manejo de imágenes raster, y funciones auxiliares de los paquetes readr, openxlsx y stringi. Cabe destacar que, al tratarse de escenas Nivel 2 (ST_B10), estas ya incluyen corrección atmosférica y de emisividad superficial, por lo que los valores obtenidos corresponden directamente a la LST real. Sin embargo, para realizar una conversión aún más acercada a la real, de la temperatura de brillo de satélite a temperatura superficial, es necesario realizar una corrección supervisada (Mora-Damian, 2017) donde se clasifique cada tipo de materiales encontrados en cada zona de estudio, para derivar con precisión la temperatura de superficie (Rasul et al., 2015) ya que, en los materiales sólidos de la superficie terrestre, una fracción de la energía radiante incidente es reflejada, transmitida o ambas (Artis y Carnahan, 1982).

Análisis Estadísticos

Con el fin de evitar posibles efectos fisiológicos asociados a diferencias reproductivas entre sexos, los análisis se restringieron exclusivamente a machos adultos de *M. fusca*, considerando siete variables de respuesta principales: culmen, ancho de pico, profundidad de pico, largo del tarso, cuerda alar, peso, índice de masa escalada utilizando tanto la medida de tarso y cuerda alar.

Se analizaron 83 machos adultos de 12 sitios distribuidos a lo largo de un gradiente urbano-rural. La urbanización fue cuantificada mediante dos variables ambientales: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), como indicador de cobertura vegetal, y La temperatura de la superficie terrestre LST. Debido a la correlación entre ambas variables, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con variables centradas y estandarizadas (media = 0, desviación estándar = 1) utilizando la función *prcomp* del paquete *stats* en el software R (v. 4.5.2). El primer componente principal (PC1) fue utilizado como variable sintética del gradiente ambiental en los análisis posteriores. Para reducir la dimensionalidad y evitar colinealidad entre las medidas del pico, se realizó un ACP con longitud, ancho y profundidad del pico utilizando variables estandarizadas. El primer componente (PC1) representó un eje de robustez (mayor ancho y profundidad), mientras que el segundo componente (PC2) se asoció principalmente con la longitud del pico. Ambos componentes fueron utilizados

como variables respuesta. Para evaluar el efecto del gradiente ambiental sobre la morfología y condición corporal se ajustaron Modelos Lineales Mixtos utilizando el paquete “lme4” (Bates et al. 2015). En todos los modelos se incluyó el sitio como efecto aleatorio (intercepto aleatorio) para controlar la no independencia espacial de individuos dentro del mismo sitio. Para cada variable de respuesta se construyó un conjunto de modelos candidatos que incluyó: (1) modelo nulo, (2) gradiente ambiental (PC1), (3) NDVI, (4) LTS y (5) NDVI + LTS. Los modelos fueron ajustados inicialmente mediante máxima verosimilitud (ML) y comparados utilizando el Criterio de Información de Akaike (AIC). El modelo con menor AIC fue posteriormente re-ajustado mediante máxima verosimilitud restringida (REML) para estimar los parámetros finales. Se consideraron modelos competitivos aquellos con $\Delta AIC < 2$. El coeficiente de determinación (R^2) se calculó con ayuda del paquete “MuMIn” (Jaeger 2017, Barton 2018). Todos los análisis se realizaron en R 4.5.2.

RESULTADOS

Se capturaron cien individuos (83 machos y 17 hembras) entre los años 2020 y 2025, aunque en el presente estudio se tomaron unicamente los datos de los machos.

Correlacion entre NDVI y LTS

El NDVI y la temperatura (LTS) mostraron una correlación negativa significativa ($r = -0.67$, IC95% = -0.78 a -0.54 , $df = 81$, $p < 0.001$), indicando que los sitios con mayor cobertura vegetal presentaron menores valores de temperatura. Esta relación sugiere la presencia de un gradiente ambiental continuo a lo largo del cual, con la disminución de cobertura vegetal aumenta la temperatura (Fig. 5).

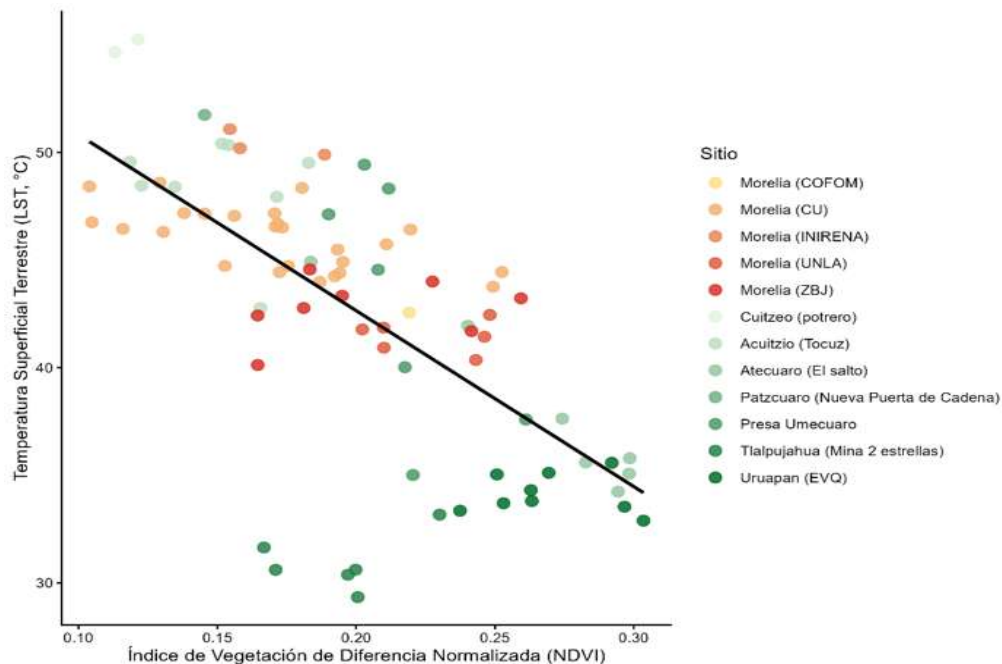


Figura 5. Relación entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la temperatura superficial terrestre (LTS). Los sitios en gradiente de verde se ubican en áreas no-urbanas, mientras que los rojos se ubican dentro de la zona urbana de M

Análisis Componentes principales

Gradiente (G)

El análisis de componentes principales indicó que el primer componente (PC1) explicó 83.7% de la varianza total. Este componente presentó cargas opuestas y de magnitud

similar para NDVI (loading = 0.71) y LTS (loading = -0.71), representando un gradiente continuo desde sitios con alta cobertura vegetal y valores menores de temperatura hasta sitios con baja vegetación y altos valores de temperatura. A estos valores de PC1 fueron llamados “Gradiente” (G) y utilizados como un factor fijo dentro del modelo.

Pico

El análisis de componentes principales del pico indicó que el PC1 explicó 55.5% de la varianza total y estuvo asociado principalmente con el ancho (loading = -0.704) y la profundidad del pico (loading = -0.701), representando un eje al que llamamos “robustez de pico”. El PC2 explicó 33.0% adicional de la varianza y estuvo fuertemente asociado con la longitud del pico (loading = -0.99), describiendo un eje independiente de tamaño longitudinal y al que llamamos “longitud de pico” (Tabla 1). Ambas variables secundarias fueron incluidas como variables de respuesta en los modelos.

Tabla 1. Resultados del ACP de las medidas tomadas en el pico. Los resultados marcados con un * representan la variable con mayor contribución a cada componente

Medidas de pico	Componente principal	
	PC1	PC2
Culmen	0.11	-0.99*
Ancho	-0.704*	-0.05
Profundidad	-0.701*	-0.10

Tamaño/ proporción corporal

El análisis de componentes principales de las variables corporales mostró que el PC1 explicó 62.4% de la varianza total y representó un eje proporcional entre la longitud del tarso y la cuerda alar con cargas opuestas (loadings = 0.71 y -0.71, respectivamente), Este componente refleja una variación en las proporciones corporales, donde valores altos corresponden a individuos con tarsos relativamente más largos y alas más cortas, mientras que valores bajos indican alas relativamente más largas y tarsos más cortos. A este eje lo denominamos “**proporción ala-tarso**”. El PC2 explicó 37.6% adicional

de la varianza y describió un eje de tamaño estructural general, con cargas positivas similares para ambas variables (0.71) a esta variable la llamamos “tamaño corporal”.

Evaluación de los efectos ambientales sobre la variación morfológica

Se compararon los cinco modelos para cada una de las 13 variables morfológicas de respuesta (65 modelos en total), donde los efectos fijos fueron LST, NDVI y una estimación ambas (Gradiente “G”) y manteniendo al sitio como efecto aleatorio. En los casos donde los modelos mixtos presentaron ajustes singulares, indicando una varianza cercana a cero en el efecto aleatorio de Sitio, se ajustaron modelos lineales (LM) sin efectos aleatorios. Estos modelos se compararon igualmente mediante AIC siguiendo el mismo conjunto de modelos candidatos. Se encontró que en la mayoría de las variables analizadas (n=8) mediante modelos mixtos, el modelo nulo presentó el menor AIC, indicando que el gradiente ambiental y/o alguna de las variables ambientales individuales no explicaron una proporción sustancial de la variación morfológica. Sin embargo, tres variables de respuesta mostraron un efecto en los modelos mixtos. (Tabla 2) y dos variables en los modelos lineales (Tabla 3).

Tabla 2 Modelos lineales mixtos para variables morfológicas evaluados en machos de *M. fusca* (N=83). El mejor modelo se destaca en negritas

Modelo	Variable respuesta	Efectos fijos	Efecto aleatorio	df	AIC	ΔAIC	N
1	Cuerda alar	NDVI	Sitio	4	438.29	0.49	82
2	Cuerda alar	LST	Sitio	4	437.94	0.15	82
3	Cuerda alar	NDVI+LST	Sitio	5	439.76	1.96	82
4	Cuerda alar	G	Sitio	4	437.80	0.00	82
5	Cuerda alar	Nulo	Sitio	3	437.86	0.07	82
1	SMI_W	NDVI	Sitio	4	406.25	1.29	81
2	SMI_W	LST	Sitio	4	406.42	1.46	81
3	SMI_W	NDVI+LST	Sitio	5	406.95	1.99	81
4	SMI_W	G	Sitio	4	404.96	0.00	81
5	SMI_W	Nulo	Sitio	3	409.35	4.39	81
1	Proporcion ala-tarso	NDVI	Sitio	4	213.11	5.01	79
2	Proporcion ala-tarso	LST	Sitio	4	208.10	0.00	79

3	Proporcion ala-tarso	NDVI+LST	Sitio	5	210.03	1.93	79
4	Proporcion ala-tarso	G	Sitio	4	210.70	2.60	79
5	Proporcion ala-tarso	Nulo	Sitio	3	212.17	4.08	79

Tabla 3. Modelos lineales (LM) ajustados para variables morfológicas del pico en aquellos casos donde los modelos mixtos presentaron ajustes singulares, indicando una varianza cercana a cero en el efecto aleatorio de sitio. El mejor modelo se destaca en negritas

Modelo	Variable respuesta	N	Efectos fijos	df	AIC	ΔAIC
1	Culmen	83	NDVI	3	139.58	2.17
2	Culmen	83	LST	3	137.41	0.00
3	Culmen	83	G	3	138.85	1.44
4	Culmen	83	NDVI+LST	4	137.92	0.51
5	Culmen	83	Nulo	2	137.59	0.18
1	Culmen expuesto	35	NDVI	3	86.13	6.97
2	Culmen expuesto	35	LST	3	81.92	2.77
3	Culmen expuesto	35	G	3	85.15	6.00
4	Culmen expuesto	35	NDVI+LST	4	79.15	0.00
5	Culmen expuesto	35	Nulo	2	84.45	5.30

Para la cuerda alar, el modelo que incluyó el gradiente ambiental (G) presentó el menor AIC; sin embargo, la diferencia con el modelo nulo fue mínima ($\Delta AIC = 0.06$) y el efecto no fue significativo (Tabla 4), indicando evidencia limitada de variación en el tamaño estructural del ala a lo largo del gradiente. En contraste, la masa escalada si mostró una relación positiva significativa con el gradiente ambiental (G) este modelo presentó un mejor ajuste que el modelo nulo ($\Delta AIC = 4.39$), y el efecto fue positivo, sugiriendo que los individuos en sitios con mayores valores del gradiente presentan mayor condición corporal ajustada por tamaño. Dado que la masa escalada se ajusta con base en la cuerda alar, estos resultados sugieren que la variación observada en condición corporal no está impulsada por cambios evidentes en tamaño estructural.

Caso similar ocurrió con la variable llamada “proporción ala-tarso” mostro una relación positiva significativa con el el modelo de temperatura (LTS), mostrando un mejor ajuste

que el modelo nulo ($\Delta AIC = 4.08$) sin embargo el efecto fue negativo, sugiriendo que los machos en sitios con mayor temperatura presentan una menor proporción ala-tarso (Tabla 4).

Tabla 4. Coeficientes de los modelos mejor ajustados (según AIC) para las variables morfológicas de *M. fusca* en relación con los predictores ambientales. Se indican en negritas los efectos significativos ($p < 0.05$).

Modelo	Variable	Predictor	β	EE	t	p	R ² m	R ² c
Mixto	Cuerda alar	G	-0.531	0.361	-1.47	0.154	0.038	0.177
Mixto	SMI_W	G	0.926	0.356	2.6	0.013	0.124	0.444
Mixto	Proporción ala-tarso	LST	-0.075	0.028	-2.66	0.01	0.125	0.692

El R² marginal (R²m) mostró que el gradiente ambiental (G) o la temperatura (LST) explicaron una proporción baja de la variación en cuerda alar (3.8%) y una proporción moderada en SMI_W y en proporción ala-tarso (12.4% y 12.5% respectivamente). En todos los casos, los valores de R² condicional (R²c) fueron mayores, especialmente en SMI_W (44.4%) y proporción ala-tarso (69.2%), lo que indica que una parte sustancial de la variación total se asocia a las diferencias entre sitios.

La relación de la temperatura y el gradiente ambiental fueron los únicos que mostraron explicar parte de la variación de la condición corporal de los machos de *M. fusca* (Fig. 6)

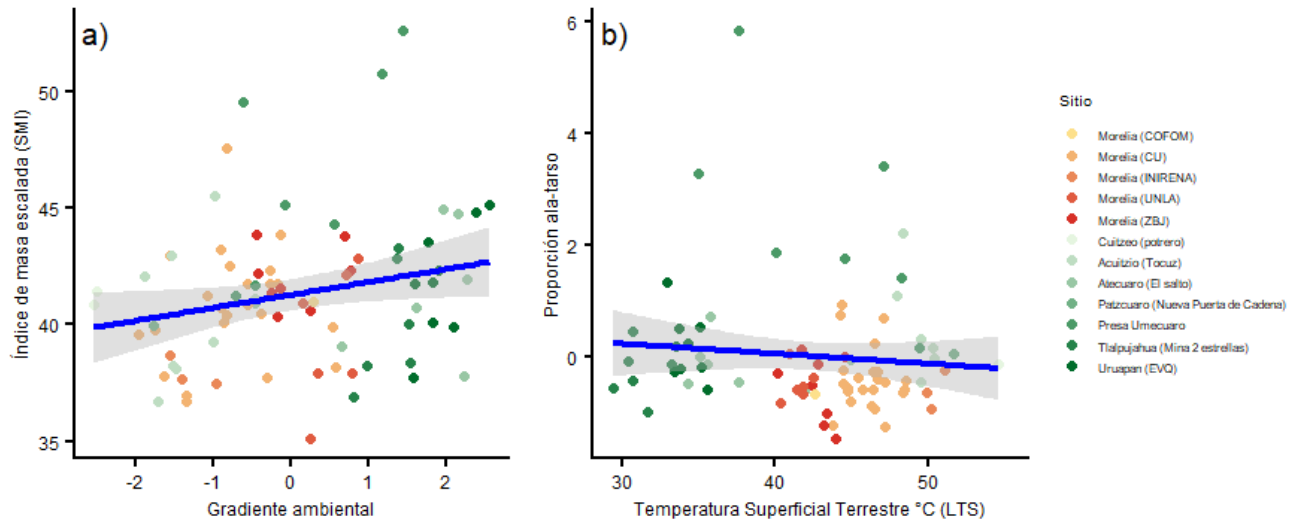


Figura 6. a) Relación del Índice de Masa Escalada (MSI) y el gradiente ambiental (G). **b)** Relación de la Temperatura Superficial Terrestre con la proporción Ala-Tarso.

Para la variable del culmen, el modelo con mejor soporte según el criterio de información de Akaike fue el que incluyó LTS como predictor ($AIC = 137.41$). Sin embargo, el efecto de LTS sobre el culmen no fue significativo ($\beta = 0.014 \pm 0.0096$ SE, $t = 1.47$, $p = 0.146$). Además, varios modelos presentaron valores de $\Delta AIC < 2$, incluyendo el modelo nulo, lo que indica que no existe evidencia clara de que las variables ambientales evaluadas expliquen la variación total en esta medida morfológica. Caso contrario a lo ocurrido con el culmen expuesto quien a pesar de tener una N menor a la del culmen, el modelo que incluyó NDVI y LTS presentó el mejor soporte según el criterio de información de Akaike ($AIC = 79.15$, $n = 35$). Ambos predictores mostraron efectos positivos y significativos sobre esta variable. La longitud del pico base aumentó con valores mayores de NDVI ($\beta = 7.63 \pm 3.53$ SE, $t = 2.16$, $p = 0.038$) y con el incremento de LTS ($\beta = 0.061 \pm 0.020$ SE, $t = 3.06$, $p = 0.004$) (Tabla 5.).

Tabla 5. Coeficientes de variación de los modelos relacionados a la longitud del pico de los machos de *M. fusca*. Se resalta en negritas las variables que resultaron significativas a la variable ambiental modelada.

Modelo	Variable	Predictor	β	EE	t	p	R ² Ajustado
Lineal Simple	Culmen	LTS	0.014	0.010	1.47	0.146	0.013
Lineal Mixto	Culmen Expuesto	NDVI	7.63	3.53	2.16	0.038	0.18
		LTS	0.06	0.02	3.06	0.004	

A pesar de que ambos predictores tanto NDVI como LTS salieron con valores significativos al modelo, y muestran estar generando un efecto en el tamaño de longitud del pico el porcentaje de variación explicada para el culmen o culmen expuesto es apenas del 1.3 y 18% respectivamente (Figura 7).

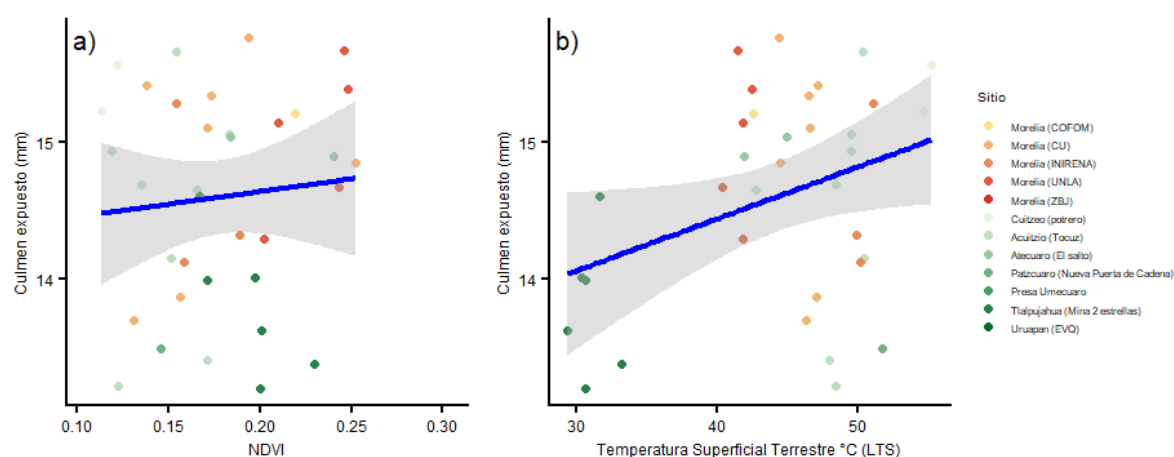


Figura 7. a) Relación del culmen expuesto y valores del índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). **b)** Relación de la Temperatura Superficial Terrestre con la proporción Ala-Tarso.

DISCUSIÓN

En este estudio se evaluó la relación entre variables morfológicas y condiciones asociadas a la urbanización. Se detectaron variaciones morfológicas asociadas con las condiciones ambientales medidas en algunas de las variables evaluadas en *Melospiza fusca*, particularmente en la masa escalada, el culmen expuesto y la proporción ala-tarso, las cuales mostraron asociaciones significativas con el gradiente ambiental y/o la temperatura superficial. Estos resultados sugieren que, las condiciones relacionadas con la urbanización consideradas dentro del estudio, pueden influir en la condición corporal y en ciertas proporciones estructurales. Este patrón coincide con algunos estudios en donde rasgos funcionales mas relevantes tienden a responder con mayor sensibilidad a la variación ambiental (Tobias et al. 2022; Santos et al. 2023) mas que de manera generalizada. Sin embargo, la mayoría de las variables morfológicas no presentaron asociaciones significativas con los predictores evaluados en este estudio, indicando que las respuestas morfológicas de la especie son selectivas y no uniforme entre rasgos. Estos resultados proporcionan soporte parcial a la hipótesis planteada, indicando que algunas métricas morfológicas específicas si responden a la variación ambiental.

Entre las variables que presentaron cambios destacan el culmen expuesto, el cual presento una relación positiva y significativa con ambas variables (LST y NDVI), es decir, que en ambientes con mayor vegetación y/o suelos mas calidos los individuos tienden a presentar picos más largos. Este patrón difiere de lo reportado en *Melospiza leucotis*, donde se han observado respuestas variables del pico entre ambientes urbanos, lo que sugiere que la respuesta morfológica puede depender de condiciones locales específicas (Cueva et al., 2025).

La variabilidad en la respuesta del pico a factores ambientales puede deberse a compensaciones funcionales, ya que la forma del pico no solo cumple funciones termorregulatorias, sino también alimenticias y de comunicación (Danner y Greenberg, 2015).

Una posible explicación de este patrón, está relacionado con la disponibilidad y tipo de recursos alimenticios. Dado que *Melospiza fusca* es una especie que forrajea en el suelo, es probable que la composición y accesibilidad de los recursos alimenticios difiera entre las áreas urbanizadas y las no urbanizadas. En este sentido la dieta podría estar siendo un factor importante de cambios en las dimensiones del pico (Lamichhaney et al. 2015) ya que existe una estrecha relación entre el tipo de recurso y la forma de esta estructura lo que sugiere una posible explicación adaptativa (Tobias et al., 2022) ya que su morfología responde a la estructura del alimento disponible (Rolshausen et al. 2009; Bosse et al. 2017 ; Navalón et al., 2019; Hüppi y Geiger 2022). Esto refuerza la idea de que los procesos asociados a la urbanización actúan como un motor capaz de inducir cambios ecomorfológicos significativos en las poblaciones animales (Johnson y Munshi-South 2017).

De manera complementaria este patrón también podría estar asociado a mecanismos de termorregulación, ya que el pico funciona como una superficie para la disipación de calor (Symonds y Tattersall, 2010; Tattersall et al., 2009; Ryding et al., 2021, 2024). En este sentido se ha documentado que especies que habitan climas más cálidos presentan picos relativamente mas grandes, facilitando la termorregulación pasiva sin necesidad de evaporación (Greenberg et al., 2012). Este patrón es consistente con evidencia funcional que demuestra que el pico puede actuar como un radiador térmico, disipando calor mediante cambios en el flujo sanguíneo (Van De Ven et al., 2016).

No obstante, la proporción de variación explicada por las variables consideradas fue baja, por lo que se deja de ser un cambio importante en el que habría que evaluar otros factores abióticos no considerados en este estudio que agreguen mas porcentaje de explicación a los cambios reportados. Por ejemplo, los ambientes urbanos suelen ofrecer jardines con una variedad de recursos, donde por lo regular hay una mezcla de especies nativas y exóticas de pastos, árboles y plantas cuyas semillas son de diversas texturas y tamaños lo que podría contribuir a la variación observada en esta estructura (Muñoz et al., 2007; Badyaev et al. 2008);

De manera similar, la condición corporal estimada mediante el índice de masa escalada (SMI) mostro asociación con las variables ambientales calculadas. Este

índice ajusta la masa corporal a una medida estructural, lo que permite obtener una estimación del tamaño funcional relativamente independiente del tamaño estructural del individuo (Peig y Green, 2009). En este estudio, el SMI calculado a partir de la cuerda alar mostró relación con el gradiente ambiental G representado por (LST) y (NDVI). Lo que sugiere que la condición corporal de los individuos responde a la variación ambiental.

En aves, la condición corporal suele estar estrechamente vinculada con la disponibilidad de recursos alimenticios y con factores que influyen en los requerimientos energéticos de los individuos como, estacionalidad, periodo reproductivo, variación climática etc. (Gardner et al., 2011; Nip et al., 2018; Weeks et al., 2020; Cueva et al., 2025). No obstante, la respuesta de la condición corporal a ambientes modificados puede ser variable dependiendo de la estructura del paisaje, la disponibilidad de los recursos e incluso la aptitud física de cada especie (Milenkaya et al., 2015; Oliveira et al., 2022; McCloy y Grace, 2023), ya que se reportan, por ejemplo, que algunas especies en habitats con temperaturas bajas, pueden mantener condiciones corporales relativamente constantes incluso en ambientes con distinto grado de perturbación, posiblemente debido a su capacidad para explotar diferentes recursos alimenticios (English et al., 2018). De esta forma, los paisajes heterogéneos compuestos por cultivos y remanentes de vegetación natural pueden favorecer la condición corporal de las aves, posiblemente debido a una mayor disponibilidad y diversidad de recursos alimenticios (Molina-Marin et al., 2022), es decir que la condición corporal de las aves no siempre disminuye en ambientes modificados por el ser humano. (Zhou et al., 2025). En este contexto, la variación observada en el SMI en el presente estudio podría estar relacionada no solo con las variables ambientales consideradas, sino también con otros factores ecológicos no evaluados en los modelos, como el tipo de dieta, la disponibilidad local de alimento o el tamaño del territorio utilizado por los individuos. Podrían ser la causa de respuestas fenotípicas plásticas a las condiciones ambientales locales o procesos microevolutivos recientes asociados al cambio climático (Gardner et al., 2011).

Finalmente, la “Proporción ala–tarso”, que refleja la relación entre la longitud del ala y el tarso como un indicador de la forma corporal de los individuos, también mostró asociación con la temperatura superficial. La relación negativa observada indica que, en ambientes con mayor temperatura, los individuos presentan una menor proporción ala–tarso, lo que sugiere alas relativamente más largas en relación con el tarso.

Este patrón sugiere que la variación no ocurre únicamente en el tamaño de las estructuras de manera independiente, si no en sus proporciones lo que podría reflejar ajustes funcionales en la morfología. Un aspecto importante a considerar es que en las aves, el tamaño de los huesos, se fija estructuralmente hacia el final de la etapa de polluelo (Lindstrom et al., 2000) por lo que la longitud del tarso podría verse afectada por las condiciones del ambiente así como por la calidad de recursos nutricionales asociados a los distintos tipos de sitio (García-Navas et al. 2013; Seress et al. 2012, 2018, 2020); aunque también se reporta que indistintamente de la etapa de desarrollo en algunas especies como el gorrión doméstico (*Passer domesticus*) y el carbonero común (*Parus major*) se han encontrado tarsos más cortos en zonas urbanas (Liker et al. 2008; Meillère et al. 2015; Biard et al. 2017; Caizergues et al. 2021); mientras que el ala puede responder a factores relacionados con la movilidad, el uso del espacio o la estructura del hábitat e incluso el sexo (Saccavino et al., 2018; Zhao et al., 2021)

A pesar de que las variables anteriormente mencionadas mostraron asociaciones significativas con los predictores ambientales; la variación estuvo explicada mayormente por el efecto del sitio. Algunas variables como la cuerda alar mostraron tendencias de asociación con el gradiente ambiental (G), aunque sin alcanzar significancia estadística, la mayoría de las métricas morfológicas evaluadas no presentaron relaciones claras con el gradiente ambiental, la LST o el NDVI. Este resultado sugiere que ciertos rasgos morfológicos podrían mantenerse relativamente estables a lo largo del gradiente analizado, posiblemente debido a restricciones funcionales o a un mayor control genético sobre su variación.

Asimismo, la ausencia de asociación podría indicar que las variables ambientales consideradas en este estudio no capturan completamente los factores que influyen en la variación morfológica, tal como lo mostraron los valores de R condicional del efecto

de sitio con un porcentaje mayor de explicación de la variación, más que los factores ambientales aleatorios tales como la disponibilidad específica de recursos, la estructura fina del hábitat o factores biológicos como su conducta territorial y/o la historia individual de los individuos. En este sentido, es probable que la variación en estos rasgos esté determinada por una combinación de factores ecológicos, fenotípicos, etológicos y evolutivos que no fueron considerados en los modelos evaluados.

Estos hallazgos sugieren que hay factores ambientales desiguales asociados a los distintos tipos de sitios que puede influir en ciertos aspectos de la morfología, particularmente en aquellos relacionados con la condición corporal y la forma funcional, y aunque su efecto puede ser parcial no se resta importancia a las diferencias entre sitios, resaltando la necesidad de considerar factores locales y procesos ecológicos adicionales para comprender la variación morfológica en ambientes heterogéneos.

Por lo anterior se sugiere, evaluar en futuros estudios, aspectos adicionales de morfometría como el ancho del tarso, longitud del alux, forma del ala etc, y sumar factores ambientales tales como la temperatura ambiental, la composición específica de la dieta en cada sitio de estudio, el tiempo de forrajeo en la estructura particular del hábitat etc. Con la finalidad de tener un panorama más claro y aportar evidencia al debate que surge de como la urbanización afecta morfológicamente la condición y el tamaño corporal de las aves.

CONCLUSIÓN

En este estudio se encontró evidencia de variación morfológica asociada con la temperatura superficial terrestre y cobertura vegetal, particularmente en rasgos como el culmen expuesto y la masa corporal del Rascador viejita.

La relación de las variables morfológicas, aunque significativas, solo explican un porcentaje relativamente bajo de la variación por lo que es necesario incluir otros factores bióticos y abióticos para mayor entendimiento de la variación. Por ejemplo, las variaciones podrían estar vinculadas a variaciones en el uso de recursos alimenticios o en los sustratos de forrajeo, ya que la forma del pico y la longitud de las extremidades son estructuras clave en la adquisición de alimento y el desempeño locomotor.

Se encontró una relación negativa entre la masa corporal (SMI) y la temperatura, consistente con patrones ecológicos ampliamente documentados en otros grupos animales, que muestran cuerpos más pequeños en ambientes cálidos para favorecer la disipación del calor.

Por otra parte, aunque no todas las variables corporales mostraron relaciones significativas con los valores de NDVI o LST, con las variables morfométricas, se logró explicar un porcentaje de variación con estos dos factores ambientales, lo que soporta la idea de que los entornos urbanizados pueden ejercer presiones selectivas sobre las poblaciones. Estas presiones, derivadas de condiciones abióticas modificadas (como el efecto de isla de calor urbana o la fragmentación del hábitat), así como de cambios en la disponibilidad de recursos, pueden conducir a respuestas adaptativas a corto plazo e incluso a procesos de microevolución. En conjunto, los hallazgos contribuyen a una creciente línea de evidencia que reconoce a la urbanización no solo como un agente de perturbación ecológica, sino también como un motor de cambio evolutivo a nivel poblacional. Comprender cómo las especies responden morfológica y funcionalmente a estos entornos alterados es fundamental para anticipar estatus, adaptación y potencial evolutivo en un mundo cada vez más cambiante por la actividad humana.

REFERENCIAS

- Amiot, C., Harmange, C., Ji, W. (2022). Morphological differences along a chronological gradient of urbanisation in an endemic insectivorous bird of New Zealand. *Urban Ecosystems*, 25(2), 465-475.
- Anderies, J. M., Katti, M., y Shochat, E. (2007). Living in the city: resource availability, predation, and bird population dynamics in urban areas. *Journal of theoretical Biology*, 247(1), 36-49.
- Artis, D.A. and Carnahan, W.H. (1982), "Survey of emissivity variability in thermography of urban areas", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 12 No. 4, pp. 313–329.
- Avdan, U., y Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of sensors*, 2016(1), 1480307.
- Badyaev, A. V., Young, R. L., Oh, K. P., y Addison, C. (2008). Evolution on a local scale: developmental, functional, and genetic bases of divergence in bill form and associated changes in song structure between adjacent habitats. *Evolution*, 62(8), 1951-1964.
- Baldwin, M. W., Winkler, H., Organ, C. L., y Helm, B. (2010). Wing pointedness associated with migratory distance in common-garden and comparative studies of stonechats (*Saxicola torquata*). *Journal of Evolutionary Biology*, 23(5), 1050-1063.
- Bartoń, K. 2018. Multi-Model Inference "MuMIn". Paquete de R.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker y S. Walker. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* 67: 1-48.
- Benmazouz I., Jokimäki J., Lengyel S., Juhász L., Kaisanlahti-Jokimäki M. L., Kardos G., et al. (2021). Corvids in urban environments: A systematic global literature review. *Animals*, 11 (11), 3226.
- Benson, J. F., Mahoney, P. J., Sikich, J. A., Serieys, L. E., Pollinger, J. P., Ernest, H. B., y Riley, S. P. (2016). Interactions between demography, genetics, and landscape connectivity increase extinction probability for a small population of large carnivores in

a major metropolitan area. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1837), 20160957.

Biard, C., Brischoux, F., Meillère, A., Michaud, B., Nivière, M., Ruault, S., y Angelier, F. (2017). Growing in cities: an urban penalty for wild birds? A study of phenotypic differences between urban and rural great tit chicks (*Parus major*). *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 79.

Boggie, M. A., y Mannan, R. W. (2014). Examining seasonal patterns of space use to gauge how an accipiter responds to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 124, 34-42.

Bojorges B. J. C. 2009. Amenazando la biodiversidad: Urbanización y sus efectos en la avifauna. *Ciencia y Mar* 2009, 13 (39) 61-65.

Bosse, M., Spurgin, L. G., Laine, V. N., Cole, E. F., Firth, J. A., Gienapp, P., Gosler, A. G., McMahon, K., Poissant, J., Verhagen, I., Groenen, M. A. M., van Oers, K., Sheldon, B. C., Visser, M. E., Slate, J., et al. (2017). Recent natural selection causes adaptive evolution of an avian polygenic trait. *Science*, 358(6361), 365–368.

Bouzat, J. L., Lewin, H. A., y Paige, K. N. (1998). The ghost of genetic diversity past: historical DNA analysis of the greater prairie chicken. *The American Naturalist*, 152(1), 1-6.

Caizergues, A. E., Charmantier, A., Lambrechts, M. M., Perret, S., Demeyrier, V., Lucas, A., y Grégoire, A. (2021). An avian urban morphotype: how the city environment shapes great tit morphology at different life stages. *Urban Ecosystems*, 24(5), 929-941.

Carvalho, A., y Marini, M. Â. (2007). Distribution patterns of diurnal raptors in open and forested habitats in south-eastern Brazil and the effects of urbanization. *Bird Conservation International*, 17(4), 367-380.

Chace, J. F., y Walsh, J. J. (2006). Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and urban planning*, 74(1), 46-69.

Chamberlain, D. E., Cannon, A. R., Toms, M. P., Leech, D. I., Hatchwell, B. J., y Gaston, K. J. (2009). Avian productivity in urban landscapes: a review and meta-analysis. *Ibis*, 151(1), 1-18.

- Chapman, M. G. (2003). Paucity of mobile species on constructed seawalls: effects of urbanization on biodiversity. *Marine Ecology Progress Series*, 264, 21-29.
- Costantini, D., Carere, C., Caramaschi, D., y Koolhaas, J. M. (2013). Trade-offs between physiology and behaviour in response to stress: a test of the coping styles hypothesis in great tits (*Parus major*). *Hormones and Behavior*, 63(5), 964–971.
- Crooks, K. R., Suarez, A. V., y Bolger, D. T. (2004). Avian assemblages along a gradient of urbanization in a highly fragmented landscape. *Biological conservation*, 115(3), 451-462.
- Cueva, L., Fuchs, E. J., Barrantes, G., Madrigal-Brenes, R., y Sandoval, L. (2025). Effect of spatial and temporal urban isolation on the genetic diversity, acoustic variation, and morphological characteristics of an urban survivor bird species. *Ecology and Evolution*, 15(4), e70972.
- Danner, R. M., y Greenberg, R. (2015). A critical season approach to Allen's rule: Bill size declines with winter temperature in a cold temperate environment. *Journal of Biogeography*, 42(1), 114–120.
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. John Murray.
- De León, L. F., Bermingham, E., Podos, J., y Hendry, A. P. (2011). Divergence with gene flow as facilitated by ecological differences: within-island variation in Darwin's finches. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1569), 1041–1052.
- Dubiner, S., y Meiri, S. (2022). Widespread recent changes in morphology of Old World birds, global warming the immediate suspect. *Global Ecology and Biogeography*, 31(4), 791-801.
- Effat, H.A. and Hassan, O.A.K. (2014). Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt. *Urban Climate*, Elsevier B.V., Vol. 10 No. P1, pp. 171–188.

- English, M. D., Robertson, G. J., Peck, L. E., Pirie-Hay, D., Roul, S., y Mallory, M. L. (2018). Body condition of American Black Ducks (*Anas rubripes*) wintering in Atlantic Canada using carcass composition and a scaled mass index. *Canadian Journal of Zoology*, 96(10), 1137-1144.
- Evans, K. L., Gaston, K. J., Sharp, S. P., McGowan, A., y Hatchwell, B. J. (2009). The effect of urbanisation on avian morphology and latitudinal gradients in body size. *Oikos*, 118(2), 251-259.
- Evans B. S., Reitsma R., Hurlbert A. H., Marra P. P. (2018). Environmental filtering of avian communities along a rural-to-urban gradient in Greater Washington, D.C., USA. *Ecosphere* 9, e02402
- Faeth, S. H., Bang, C., y Saari, S. (2011). Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 69-81.
- Fraser, D., Ironside, K. E., Wayne, R. K., y Boydston, E. E. (2019). Connectivity of mule deer (*Odocoileus hemionus*) populations in southern California: a genetic survey of a mobile ungulate in a highly fragmented urban landscape. *Landscape Ecology*, 1-19.
- García-Arroyo M., Gómez-Martínez M. A., MacGregor-Fors I. (2023). Litter buffet: On the use of trash bins by birds in six boreal urban settlements. *Avian Res.* 14, 100094.
- García-Navas, V., Ferrer, E. S., ys Sanz, J. J. (2013). Prey choice, provisioning behaviour, and effects of early nutrition on nestling phenotype of titmice. *Ecoscience*, 20(1), 9-18.
- Gardner, J. L., Peters, A., Kearney, M. R., Joseph, L., y Heinsohn, R. (2011). Declining body size: A third universal response to warming? *Trends in Ecology & Evolution*, 26(6), 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.005>
- Giraudeau, M., Nolan, P. M., Black, C. E., Earl, S. R., Hasegawa, M., y McGraw, K. J. (2014). Song characteristics track bill morphology along a gradient of urbanization in house finches (*Haemorhous mexicanus*). *Frontiers in Zoology*, 11, 1-8.

- González, C., Ornelas, J. F., y 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, 38
- Grant, P. R., Abbott, I., Schluter, D., Curry, R. L., y Abbott, L. K. (1985). Variation in the size and shape of Darwin's finches. *Biological Journal of the Linnean Society*, 25(1), 1-39.
- Grant, B. R., y Grant, P. R. (1989). Natural selection in a population of Darwin's finches. *The American Naturalist*, 133(3), 377-393.
- Grant, P. y Grant, B. R. (2006). *Evolution of character displacement in Darwin's finches*. *Science*, 313(5784), 224–226.
- Greenberg, R., Cadena, V., Danner, R. M., y Tattersall, G. (2012). Heat loss may explain bill size differences between birds occupying different habitats. *PLoS ONE*, 7(7), e40933.
- Grilli, M. G., Lambertucci, S. A., Therrien, J. F., y Bildstein, K. L. (2017). Wing size but not wing shape is related to migratory behavior in a soaring bird. *Journal of avian biology*, 48(5), 669-678.
- Heiss, R. S., Clark, A. B., y McGowan, K. J. (2009). Growth and nutritional state of American crow nestlings vary between urban and rural habitats. *Ecological Applications*, 19(4), 829-839.
- Hendry, A. P., Farrugia, T. J., y Kinnison, M. T. (2008). Human influences on rates of phenotypic change in wild animal populations. *Molecular ecology*, 17(1), 20-29.
- Hijmans, R. J., Bivand, R., Forner, K., Ooms, J., Pebesma, E., y Sumner, M. D. (2022). Package 'terra'. *Maintainer: Vienna, Austria*, 384(10.32614).
- Hüppi, E., y Geiger, M. (2022). Fast-paced city life? Tempo and mode of phenotypic changes in urban birds from Switzerland. *Ecology and Evolution*, 12(8), e9217.
- Huyser, O., Ryan, P. G., y Cooper, J. (2000). Changes in population size, habitat use and breedingbiology of lesser sheathbills (*Chionis minor*) at Marion Island: impacts of cats, mice and climate change?. *Biological Conservation*, 92(3), 299-310.

- Jaeger, B. 2017. Computes R Squared for Mixed (Multilevel) Models "r2glmm". Paquete de R.
- Johnson, M. T., y Munshi-South, J. (2017). Evolution of life in urban environments. *Science*, 358(6363), eaam8327.
- Johnson, R. R. y L. T. Haight (2020). Canyon Towhee (*Melospiza fusca*), version 1.0. In *Birds of the World* (A. F. Poole and F. B. Gill, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.
- Knapp, S., Aronson, M. F. J., Carpenter, E., Herrera-Montes, A., Jung, K., Kotze, D. J., and La Sorte, F. A., et al. (2021). A research agenda for urban biodiversity in the global extinction crisis. *BioScience* 71(3), 268–279.
- Koontz TL, Shepherd UL Marshall D (2001) The effects of climate change on Merriam's kangaroo rat, *Dipodomys merriami*. *J. Arid Environ.* 49:581–591
- Kulemeyer, C., Asbahr, K., Gunz, P., Frahnert, S., y Bairlein, F. (2009). Functional morphology and integration of corvid skulls—a 3D geometric morphometric approach. *Frontiers in Zoology*, 6, 1-14.
- Labocha, M. K., y Hayes, J. P. (2012). Morphometric indices of body condition in birds: a review. *Journal of Ornithology*, 153(1), 1–22.
- Lamichhaney, S., Han, F., Berglund, J., Wang, C., Almén, MS, Webster, MT, ... y Andersson, L. (2016). Un locus del tamaño del pico en los pinzones de Darwin facilitó el desplazamiento de caracteres durante una sequía. *Science*, 352 (6284), 470-474.
- Liker, A., Papp, Z., Bókony, V., y Lendvai, A. Z. (2008). Lean birds in the city: body size and condition of house sparrows along the urbanization gradient. *Journal of animal ecology*, 77(4), 789-795.
- Lindström, Å. K. E., Kvist, A., Piersma, T., Dekinga, A., y Dietz, M. W. (2000). Avian pectoral muscle size rapidly tracks body mass changes during flight, fasting and fuelling. *Journal of Experimental Biology*, 203(5), 913-919.

- Lowry H., Lill A., Wong B. B. (2013). Behavioural responses of wildlife to urban environments. *Biol. Rev.* 88 (3), 537–549.
- Lynch, A., and A. J. Baker. (1994). Population Memetics Approach to Cultural Evolution in Chaffinch Song: Differentiation Among Populations. *Evolution: International Journal of Organic Evolution* 48, No. 2: 351–359.
- Marzluff, J. M., (2001). Worldwide urbanization and its effects on birds. – In: J. M. Marzluff, R. Bowman and R. Donnelly (eds), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, 19–38.
- McCloy, M. W., y Grace, J. K. (2023). Short-term weather patterns influence avian body condition during the breeding season. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1154656.
- McKinney, M. L. (2002). Urbanization, biodiversity, and conservation: the impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *Bioscience*, 52(10), 883-890.
- McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological conservation*, 127(3), 247-260.
- Meillère, A., Brischoux, F., Parenteau, C., y Angelier, F. (2015). Influence of urbanization on body size, condition, and physiology in an urban exploiter: a multi-component approach. *PloS one*, 10(8), e0135685.
- Milenkaya, O., Catlin, D. H., Legge, S., y Walters, J. R. (2015). Body condition indices predict reproductive success but not survival in a sedentary, tropical bird. *Plos one*, 10(8), e0136582.
- Moiron, M., Gonzalez-Lagos, C., Slabbekoorn, H., y Sol, D. (2015). Singing in the city: high song frequencies are no guarantee for urban success in birds. *Behavioral Ecology*, 26(3), 843-850.
- Molina-Marin, D. A., Rodas-Rua, J. C., Lara, C. E., Rivera-Páez, F. A., Fontúrbel, F. E., y Castaño-Villa, G. J. (2022). Effects of landscape configuration on the body condition of migratory and resident tropical birds. *Diversity*, 14(6), 432.

- Mora Damián, E. (2017). *Análisis espacio-temporal de la isla de calor urbana en la ciudad de Morelia, Michoacán* (Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). Repositorio Institucional de la UMSNH
- Møller AP, Díaz M, Grim T, Dvorská (2015). Effects of urbanization on bird phenology: a continental study of paired urban and rural populations. *Clim Res.* 66,185-199.
- Muñoz, M. C., Fierro-Calderón, K., y Rivera-Gutierrez, H. F. (2007). Las aves del campus de la Universidad del Valle, una isla verde urbana en Cali, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 5(5), 5-20.
- Navalón, G., Bright, J. A., Marugán-Lobón, J., y Rayfield, E. J. (2019). The evolutionary relationship among beak shape, mechanical advantage, and feeding ecology in modern birds. *Evolution*, 73(3), 422–435.
- Neate-Clegg, M. H., Tonelli, B. A., Youngflesh, C., Wu, J. X., Montgomery, G. A., Şekercioğlu, Ç. H., y Tingley, M. W. (2023). Traits shaping urban tolerance in birds differ around the world. *Current Biology*, 33(9), 1677-1688.
- Nip, E. J., FrEi, B., y Elliott, K. H. (2018). Seasonal and temporal variation in scaled mass index of Black-capped Chickadees (*Poecile atricapillus*). *The Canadian Field-Naturalist*, 132(4), 368-377.
- Ocampo, D., Alvarado, A., Álvarez, M. J., Ríos-Acuña, J. A., Barrantes, G., y Sandoval, L. (2019). Asociación entre la morfología alar y el uso del hábitat en seis especies de palomas (Columbidae) neotropicales. *Revista de Biología Tropical*, 67(2), 315-325.
- Oliveira, S. L., Flaspohler, D. J., Knowlton, J. L., y Wolfe, J. D. (2022). Do oil palm plantations provide quality habitat for migratory birds? A case study from Mexico. *Ecological Indicators*, 139, 108964.
- Peig, J., y Green, A. J. (2009). New perspectives for estimating body condition from mass/length data: The scaled mass index as an alternative method. *Oikos*, 118(12), 1883–1891.
- Pergams, O. R., y Lawler, J. J. (2009). Recent and widespread rapid morphological change in rodents. *PloS one*, 4(7), e6452.

- Plummer, K. E., Risely, K., Toms, M. P., and Siriwardena, G. M. (2019). The composition of British bird communities is associated with long-term garden bird feeding. *Nature Communications* 10(1), 1–8.
- Pompeu, P. S., Alves, C. B. M., y Callisto, M. (2005). The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas basin, Brazil. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 47, pp. 11-22).
- Preininger D., Schoas B., Kramer D., Boeckle M. (2019). Waste disposal sites as all-you-can eat buffets for carrion crows (*Corvus corone*). *Animals* 9 (5), 215.
- Putman, B. J., Samia, D. S., Cooper, W. E., y Blumstein, D. T. (2019). Impact of human-induced environmental changes on lizard behavior: insights from urbanization. In *Behavior of Lizards* (pp. 375-396). CRC Press.
- QGIS Development Team. (2025). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <https://qgis.org> (ver. 3.40.6)
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F., y Milá, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres (General Technical Report PSW-GTR-159). Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Rasul, A., Balzter, H. and Smith, C. (2015), “Spatial variation of the daytime Surface Urban Cool Island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8”, *Urban Climate*, Elsevier B.V., Vol. 14, pp. 176–186.
- Ribeiro, P. V. A., Baesse, C. Q., Cury, M. C., y Melo, C. D. (2020). Leukocyte profile of the helmeted manakin, *Antilophia galeata* (Passeriformes: Pipridae) in a Cerrado forest fragment. *Zoologia (Curitiba)*, 37, e46441.
- Ribeiro, P. V. A., Gonçalves, V. F., de Magalhães Tolentino, V. C., Baesse, C. Q., Pires, L. P., Paniago, L. P. M., y de Melo, C. (2022). Effects of urbanisation and pollution on the heterophil/lymphocyte ratio in birds from Brazilian Cerrado. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(26), 40204-40212.

- Rodríguez-Ferraro, A., y Arendt, W. J. (2012). Body condition and molt in the critically endangered Puerto Rican Parrot (*Amazona vittata*). *Ornitología Neotropical*, 23(1), 1–10.
- Rolshausen, G., Segelbacher, G., Hobson, K. A., y Schaefer, H. M. (2009). Contemporary evolution of reproductive isolation and phenotypic divergence in sympatry along a migratory divide. *Current Biology*, 19(24), 2097-2101.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., y Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium* (Vol. 1, pp. 309–317). NASA.
- Ruiz, G., Rosenmann, M., Novoa, F. F., y Sabat, P. (2002). Hematological parameters and stress index in rufous-collared sparrows dwelling in urban environments. *The Condor*, 104(1), 162-166.
- Ryding, S., Klaassen, M., Tattersall, G. J., Gardner, J. L., y Symonds, M. R. (2021). Shape-shifting: changing animal morphologies as a response to climatic warming. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(11), 1036-1048.
- Ryding, S., McQueen, A., Klaassen, M., Tattersall, G. J., y Symonds, M. R. (2024). Long-and short-term responses to climate change in body and appendage size of diverse Australian birds. *Global Change Biology*, 30(10), e17517.
- Salewski, V., Siebenrock, K. H., Hochachka, W. M., Woog, F., y Fiedler, W. (2014). Morphological change to birds over 120 years is not explained by thermal adaptation to climate change. *PLoS One*, 9(7), e101927.
- Sandoval, L., y Mennill, D. J. (2013). Morphometric measurements permit accurate sexing of three species of Mesoamerican ground-sparrow (Genus: *Melospiza*). *The Wilson Journal of Ornithology*, 125(3), 471-478.
- Santos, E. G., Pompermaier, V. T., Wiederhecker, H. C., y Marini, M. Â. (2023). Urbanisation-induced changes in the morphology of birds from a tropical city. *Emu-Austral Ornithology*, 123(4), 291-302.

- Seress, G., Bókony, V., Pipoly, I., Szép, T., Nagy, K., y Liker, A. (2012). Urbanization, nestling growth and reproductive success in a moderately declining house sparrow population. *Journal of Avian Biology*, 43(5), 403-414.
- Seress, G., Hammer, T., Bókony, V., Vincze, E., Preiszner, B., Pipoly, I., ... Liker, A. (2018). Impact of urbanization on abundance and phenology of caterpillars and consequences for breeding in an insectivorous bird. *Ecological Applications*, 28, 1143–1156.
- Seress, G., Sándor, K., Evans, K. L., y Liker, A. (2020). Food availability limits avian reproduction in the city: An experimental study on great tits *Parus major*. *Journal of Animal Ecology*, 89(7), 1570-1580.
- Seress, G., y Liker, A. (2015). Habitat urbanization and its effects on birds. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 61(4), 373-408.
- Shochat E., Warren P. S., Faeth S. H., McIntyre N. E., y Hope D. (2006). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends Ecol. Evol.* 21 (4), 186–191.
- Symonds, M. R., y Tattersall, G. J. (2010). Geographical variation in bill size across bird species provides evidence for Allen's rule. *The American Naturalist*, 176(2), 188-197.
- Tattersall, G. J., Andrade, D. V., y Abe, A. S. (2009). Heat exchange from the toucan bill reveals a controllable vascular thermal radiator. *Science*, 325(5939), 468–470.
- Tobias, J. A., Sheard, C., Pigot, A. L., Devenish, A. J., Yang, J., Sayol, F., y Schleuning, M. (2022). AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. *Ecology Letters*, 25(3), 581-597.
- U.S. Geological Survey. (2019). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook* (Version 5.0). U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8-data-users-handbook>
- U.S. Geological Survey (USGS). (2023). *EarthExplorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov>
- Unfried, T. M., Hauser, L., y Marzluff, J. M. (2013). Effects of urbanization on Song Sparrow (*Melospiza melodia*) population connectivity. *Conservation Genetics*, 14(1), 41-53.

- Vanhooydonck, B., Herrel, A., Gabela, A. N. A., y Podos, J. (2009). Wing shape variation in the medium ground finch (*Geospiza fortis*): an ecomorphological approach. *Biological Journal of the Linnean Society*, 98(1), 129-138.
- Van De Ven, T. M. F. N., Martin, R. O., Vink, T. J. F., McKechnie, A. E., y Cunningham, S. J. (2016). Regulation of heat exchange across the hornbill beak: functional similarities with toucans?. *PLoS One*, 11(5), e0154768.
- Villalobos-Ponce 2023. Sistema territorial de una población urbana de Rascador viejita (Melozone fusca, Passerellidae; Aves) en Morelia, Michoacán. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana De San Nicolas De Hidalgo. Repositorio institucional de la UMSNH.
- Weeks, B. C., Willard, D. E., Zimova, M., Ellis, A. A., Witynski, M. L., Hennen, M., y Winger, B. M. (2020). Shared morphological consequences of climate change for birds in the Americas. *Science*, 370(6520), 1343–1349.
- Wolf, M., Friggens, M., y Salazar-Bravo, J. (2009). Does weather shape rodents? Climate related changes in morphology of two heteromyid species. *Naturwissenschaften*, 96, 93-101.
- Zhao, Y., Liu, Y., Scordato, E. S., Lee, M. B., Xing, X., Pan, X., ... y Pagani-Núñez, E. (2021). The impact of urbanization on body size of Barn Swallows *Hirundo rustica gutturalis*. *Ecology and Evolution*, 11(1), 612-625.
- Zhou, W., Grossi, A. A., Gustafsson, D. R., Wang, Z., Zhang, Z., Han, Y., y Robinson, S. K. (2025). Forest birds maintain body condition in Alder-leaf Birch (*Betula alnoides*) plantations in subtropical Asia. *Basic and Applied Ecology*, 85, 45-55.

CAPITULO II

Fenología y estructura del canto en poblaciones urbanas y no urbanas del Rascador viejita (*Melospiza fusca*, Passerellidae: aves)

Laboratorio de Investigación en Ornitología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán.

RESUMEN

Las condiciones en las áreas urbanas (como el ruido, densidad de vegetación, área construida, competencia con otras especies y el impacto humano directo) pueden estar provocando la modificación y desplazamiento de cantos hacia frecuencias más altas y con mayor frecuencia en las aves, y los individuos machos que habitan lugares altamente urbanizados comienzan el coro del amanecer más temprano y mantienen un canto más prolongado que sus congéneres habitantes de sitios no urbanizados. Bajo este planteamiento surge la pregunta de si existen diferencias en la estructura, hora de inicio y final de los cantos, así como la frecuencia de los mismos entre poblaciones urbanas y no-urbanas en la especie *Melospiza fusca*. El objetivo de este estudio fue conocer la estructura, fenología y frecuencia de los cantos del Rascador Viejita. Se planteó la hipótesis de que en las zonas urbanas los individuos comienzan a cantar más temprano y con mayor frecuencia que en zonas no-urbanizadas. Colocamos dispositivos de grabación automática en distintos sitios urbanos y no-urbanos en la ciudad de Morelia, Michoacán y sus alrededores, con la finalidad de obtener el registro vocal durante el periodo de las 04:00 a las 06:30 horas. Los resultados mostraron que los machos en la ciudad inician su coro matutino más temprano, tiene una duración mas prolongada y cantan de manera más frecuente; por otra parte, el numero de notas que incluye su repertorio es menor que el de machos de sitios no-urbanos. Nuestro trabajo sugiere que los machos modifican sus hábitos de canto como resultado de su adaptación a la vida en sitios urbanizados.

Palabras clave: Cantos, Ruido, Luz

ABSTRACT

Urban conditions (such as noise, vegetation density, built-up area, competition with other species, and direct human impact) may be driving modifications and shifts in bird songs toward higher frequencies and greater repetition rates. Additionally, male individuals inhabiting highly urbanized areas begin the dawn chorus earlier and maintain longer singing bouts compared to their conspecifics in non-urbanized sites. Based on this premise, the question arises as to whether there are differences in the structure, start and end times, and frequency of songs between urban and non-urban populations of the Canyon Towhee (*Melospiza fusca*). The objective of this study was to characterize the structure, phenology, and frequency of songs in the Canyon Towhee. We hypothesized that individuals in urban zones begin singing earlier and more frequently, than those in non-urbanized areas. Automatic recording devices were deployed at various urban and non-urban sites within the city of Morelia, Michoacán, and its surroundings, in order to obtain vocal recordings during the period from 04:00 to 06:30 hours. The results showed that males in the city start their morning chorus earlier, exhibit longer singing durations, and sing more frequently. In contrast, the number of notes included in their repertoire is smaller than that of males from non-urban sites. Our study suggests that males modify their singing behavior as a result of adaptation to urban environments.

Keywords: Songs, Noise, Light

INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización y la presencia humana han modificado profundamente los ambientes naturales, generando cambios en la estructura del hábitat y la dinámica de las interacciones ecológicas (Faeth et al., 2011, Marzulff 2001). Estas transformaciones también logran alterar el entorno sensorial, ya que factores como la modificación de vegetación, aumento del ruido antropogénico y la iluminación artificial, modifican las condiciones bajo las cuales se transmiten las señales entre organismos (Ciuti et al., 2012; Halfwerk y Slabbekoorn, 2015; Dominoni et al., 2013). En este contexto el entorno físico actúa como uno de los principales factores de selección que moldea la estructura de la comunicación acústica (Morton et al., 1975).

Las aves constituyen uno de los grupos en los que estos efectos han sido ampliamente evaluados, debido al papel que representa la comunicación acústica en funciones fundamentales de diversos procesos ecológicos como la defensa del territorio, la atracción de pareja y la mediación de interacciones sociales, además de permitir alertar sobre la presencia de depredadores o la disponibilidad de recursos (Bradbury y Vehrencamp, 1998; Catchpole y Slater, 2008; Marler y Slabbekoorn 2004). En muchas especies, características del canto como el tamaño del repertorio pueden reflejar la calidad del individuo y desempeñar un papel importante durante el cortejo y la selección sexual (Searcy y Nowicki, 2008; Cooper, 2014), por lo que alteraciones en las condiciones ambientales pueden afectar potencialmente el éxito reproductivo (Swaddle y Page, 2007; Halfwerk et al., 2011; Potvin y MacDougall-Shackleton, 2015). La producción del canto está regulada tanto por factores endógenos, como por los ritmos circadianos y otros factores ambientales (Catchpole y Slater, 2008), los cuales pueden verse modificados en ambientes urbanos, alterando los patrones de vocalización de las aves (Slabbekoorn y den Boer-Visser, 2006; Pacheco-Vargas y Losada-Prado, 2015; Dominoni et al., 2020; Castillo y Chamba, 2021; Koppen et al., 2024).

Dos de los factores que destacan en ambientes antropizados que además alteran la fisiología y las conductas de distintas especies de aves son la contaminación lumínica

o específicamente ALAN (por su acrónimo en inglés ALAN “artificial light at night”), y el ruido antropogénico (Fuller et al., 2007; Raap et al., 2015; Gaston et al., 2013; Perkin et al., 2011; Sanders et al., 2021; Swaddle et al., 2015). En este contexto, es común que, para medir el efecto de estos dos factores, en especies diurnas, se utilice el inicio del coro del amanecer, la estructura y otras métricas del canto (Koppen et al., 2024; Sagar et al., 2021). Sin embargo, en especies nocturnas se ha reportado un incremento de su actividad vocal debido principalmente al estímulo sensorial de ALAN o por el contrario reducir su tasa de canto; aunque estos dos estímulos coexisten en zonas urbanas y actúan en sinergia afectando los patrones de actividad (Dominoni et al. 2020; Dickerson 2022), y también se les ha estudiado múltiples veces de manera aislada. En otras especies se ha registrado un aumento en la frecuencia mínima del canto en áreas urbanas donde además del efecto del ruido antropogénico, también se asocia con cambios morfológicos en el pico (Giraudeau et al., 2014; Juárez et al. 2020). Por lo tanto, podríamos entender que de manera general el canto de las aves y su frecuencia varía sistemáticamente entre especies y regiones, asociado principalmente con la estructura del hábitat, las condiciones ambientales y el tamaño corporal (Sagar et al., 2021).

Estudios han demostrado que la presencia de luz artificial nocturna puede adelantar la hora de inicio del canto matutino, lo cual podría tener implicaciones ecológicas al modificar la sincronización de comportamientos reproductivos (Dominoni et al., 2013; Da Silva et al., 2014). Para muchas especies de aves canoras se ha registrado, tanto en entornos no-urbanos (urbanos y forestales) como en cautiverio, que los efectos de ALAN adelantan las actividades de inicio tanto en machos como en hembras (Dorado-Correa et al., 2016; Dominoni et al., 2020; Arroyo-Solís et al., 2013; Da Silva et al., 2014, 2016; Da Silva y Kempenaers 2017), aunque no en todas (Marín-Gómez y MacGregor-Fors, 2019). Por ejemplo, en el Mosquero Cardenalito (*Pyrocephalus rubinus*) que habita en lugares altamente urbanizados, se ha registrado que los machos comienzan el coro del amanecer mucho antes y logran tener un canto más prolongado que en zonas menos urbanizadas (Sánchez-González et al. 2021). En el caso del Carbonero común (*Parus major*) se ha observado que adelantan en promedio su canto cuarenta y siete minutos antes del amanecer (Foppen et al., 2024) y

aumentan el tiempo de sus actividades de forrajeo, movimiento y canto (Dominoni et al., 2020).

Por otro lado, el segundo factor involucrado en las modificaciones directas de la conducta vocal en aves es la contaminación acústica, derivada principalmente del tráfico vehicular y otras fuentes antropogénicas, que pueden enmascarar señales acústicas, reduciendo su eficacia y provocando ajustes en la frecuencia, amplitud o tasa de emisión del canto (Brumm y Slabbekoorn, 2005). En este contexto, se ha observado que aves que habitan en entornos urbanos pueden modificar las características acústicas de sus vocalizaciones. Por ejemplo, algunas especies han aumentado la frecuencia mínima de sus cantos para evitar el traslape con el ruido de baja frecuencia predominante en ambientes urbanizados (Slabbekoorn y den Boer-Visser, 2006). Además de estos cambios estructurales, también se han documentado modificaciones en los patrones temporales de vocalización, como el inicio más temprano o la extensión de la actividad de canto, así como ajustes en los horarios de vocalización para evitar los periodos de mayor intensidad de ruido (Arroyo-Solís et al., 2013; Gil y Brumm, 2014; de Framond y Brumm, 2022; Muñoz-Santos et al., 2025).

Se ha documentado que diversas especies de aves urbanas presentan frecuencias más altas de acuerdo con el nivel de ruido, estructura de la vegetación y las diferentes condiciones ambientales (Slabbekoorn y den Boer-Visser 2006; Juárez et al., 2020; Bonilla-Badilla 2021). Se ha demostrado, además, que el ruido de las ciudades les afecta negativamente (Slabbekoorn, 2013; Dominoni et al. 2020; Foppen et al., 2024) provocando cantos más fuertes o frecuencias más altas en las vocalizaciones en comparación con sus congéneres en los bosques, quienes cantan a frecuencias más bajas y con intervalos más largos entre cantos (Nemeth y Brumm, 2009).

Los distintos niveles de ruido dentro de los ambientes tienen una relación directa con los cambios generados en las frecuencias de los cantos emitidos por los machos para lograr una mejor transmisión de señales a larga distancia en entornos ruidosos como el caso de zonas urbanas (Villareal et al., 2024, Méndez et al. 2020; Sandoval et al. 2016; Sandoval y Mennill 2014; Bonilla-Badilla 2021, Cueva et al., 2025), aunque también en ambientes con alto nivel de ruido natural (Briseño-Jaramillo et al., 2025).

Por lo tanto, el ruido urbano puede restringir la complejidad estructural del canto, favoreciendo señales más simples y estrechas en frecuencia que maximizan la audibilidad, pero reducen la calidad informativa de la señal (Winandy et al. 2021). Esta modificación de las frecuencias en el canto podría reducir la asociación generada por las hembras de que un territorio ruidoso es consecuentemente de baja calidad, ya que el canto de los machos es significativamente menos exitoso en sitios ruidosos para atraerlas que en aquellos sitios tranquilos (Slabbekoorn 2013).

El ruido antropogenico tambien actua como un factor que influye en la transmicion cultural del canto. Este no solo modifica los cantos individuales, sino tambien en que variantes del canto se transmiten culturalmente en una poblaci3n, ya que favorece cantos con frecuencias m1s altas y reduce la transmisi3n de aquellos de baja frecuencia. A consecuencia, algunas variantes pueden desaparecer o transmitirse con errores durante el aprendizaje vocal, lo que puede conducir a la homogeneizaci3n del canto y por ende la p3rdida de diversidad cultural (Luther y Baptista, 2009). El canto es en general un car1cter aprendido, como tal, se espera que poblaciones de aves urbanas que se encuentran distantes o aisladas de las no-urbanos, presenten variaciones en el repertorio del canto o llamados (Slater 1986),

Algunas de las Las hip3tesis propuestas que explican la modificaci3n de la comunicaci3n ac1stica pueden ser: **1) Hipotesis de Impulso Sensorial (HSD)** que propone que la evoluci3n de las se1ales depende de la interacci3n entre el ambiente, la se1al (canto) y el sistema sensorial del receptor (Endler 1992; Tobias et al., 2010). Las alteraciones humanas sobre el ecosistema logran generar aislamiento espacial y temporal en entornos urbanos y estos puede inducir cambios en la diversidad gen3tica y estructura vocal de especies residentes. Asociada a esta hip3tesis, se deriva la Hipotesis 2) denominada “**de adaptaci3n ac1stica**” (**HAA**), esta propone que las caracter1sticas de los cantos de las aves est1n moldeadas por el ambiente en el que se transmiten, de modo que la selecci3n natural favorece se1ales que maximizan su eficacia de propagaci3n en distintos tipos de h1bitat (Morton, 1975). As1, variables como la frecuencia y la estructura temporal del canto pueden variar en funci3n de las condiciones ecol3gicas del entorno. Las especies en ambientes m1s cerrados tienden

a usar frecuencias más bajas y las de ambientes más abiertos frecuencias más altas (Sagar et al., 2024) y **3) Aprendizaje y deriva cultural:** Los individuos jóvenes son capaces de aprender el canto de los adultos antes de ser independientes (Marler y Tamura, 1962). Considerando la variación individual en el aprendizaje y la poca experiencia de imitar los cantos en esta etapa, pueden agregar “errores” en la copia, que se reflejan en elementos inovados e improvisados dentro del canto aprendido (Marler, 1976; Lynch, 1996; Podos et al., 2004) incorporando pequeñas modificaciones que pueden acumularse o perderse de manera estocástica a lo largo del tiempo, sin que eso se asocie al proceso de selección natural. Como consecuencia, la estructura del canto puede diferenciarse espacial o temporalmente entre poblaciones (Lee et al., 2019) y estas, a su vez, entre los individuos de poblaciones más cercanas que tienden a compartir más cantos que con los de poblaciones más distantes (Marler y Slabbekoorn, 2004).

En poblaciones urbanas de *Melospiza leucotis*, especie hermana a la propuesta en el presente trabajo, ya se observaron transformaciones en el canto como mayor duración y complejidad en relación con el aislamiento espacial generado por la urbanización (Cueva et al., 2025), por lo que se vuelve muy importante comparar poblaciones urbanas y no-urbanas para identificar patrones de ajuste o vulnerabilidad ante estas presiones ambientales. El estudio de las variaciones en la fenología y estructura del canto bajo gradientes de urbanización aporta evidencia crucial para entender los mecanismos de plasticidad conductual, y para evaluar el impacto de la actividad humana sobre los procesos reproductivos y la comunicación acústica de las especies.

Partiendo de que la urbanización genera nuevas condiciones ambientales que suponen diferentes presiones de selección natural y promueven adaptaciones de los individuos a las nuevas condiciones, el objetivo de este estudio fue determinar la variación de la cronología y tasa del canto matutino, así como describir la variación vocal de poblaciones del *Melospiza fusca* con relación con variables ambientales asociadas al grado de urbanización.

Las Hipotesis derivadas fueron: **1)** El canto matutino y frecuencia de cantos en poblaciones urbanas es diferente al de poblaciones no-urbanas, iniciando más

temprano y con mayor asincronía en las poblaciones urbanas que en las no-urbanas.

2) Las variaciones en niveles de luz artificial y ruido ambiental, temperatura y humedad entre sitios de estudio urbanos y no-urbanos, influyen en la variación de patrones vocales entre poblaciones.

MÉTODOS

Objetivo 1: Fenología matutina del canto

Trabajo de campo

El Rascador viejita mantiene territorios relativamente estables durante el ciclo anual (Villalobos-Ponce, 2023). Con base en esta característica, se ubicaron territorios de la especie en zonas clasificadas empíricamente como urbanas y no urbanas llamadas no-urbanos.

Los sitios urbanos se caracterizaron por estar rodeados principalmente de construcciones y edificaciones, así como por la presencia de alumbrado público y vialidades con tránsito vehicular constante. En contraste, los sitios no-urbanos correspondieron a zonas rurales con escasa iluminación artificial, ausencia de calles pavimentadas y baja densidad de viviendas (≤ 3), además de presentar áreas de uso agrícola y remanentes de vegetación tipo bosque. Los sitios urbanos correspondieron a áreas dentro de la ciudad de Morelia, mientras que los sitios no-urbanos se ubicaron en zonas rurales aledañas como Atecuaro y el área voluntaria para la conservación “El Tocuz” (Fig. 8).

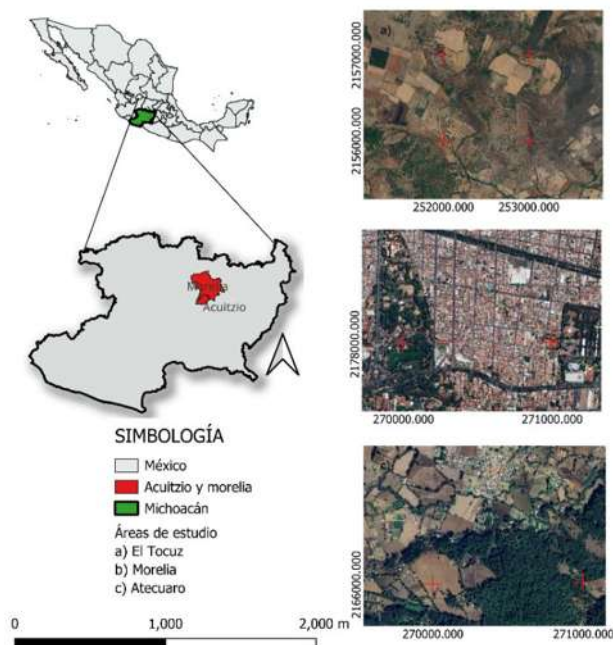


Figura 8. Ubicación de los sitios de estudio dentro de los municipios de Morelia y Acuitzio del Canje. Las imágenes satelitales representan los sitios donde se ubicaron los territorios de *Melospiza fusca*.

Los individuos focales de cada territorio fueron ubicados principalmente con el método de observación directa matutina para conocer la percha principal donde llevaban acabo el coro matutino.

En cada territorio se colocaron dispositivos de grabación automática (Audiomoth) a una altura aproximada de entre 1.5 a 2.0m del suelo (Bota et al., 2023; Farrell et al., 2024). Los dispositivos fueron programados mediante el software *Audiomoth Configuration* para grabar desde las 04:00 hasta las 06:30hr, considerando el amanecer local a las 06:00hr. Las grabaciones se realizaron de manera continua en intervalos de 15 minutos.

El muestreo se llevó a cabo durante el periodo reproductivo de la especie (marzo–mayo) en cada uno de los sitios de estudio. Las grabadoras permanecieron instaladas durante al menos dos días por territorio, con el fin de obtener un promedio del patrón de canto por individuo, y así contar con una representación más robusta entre poblaciones urbanas y no urbanas.

Para cada sitio se registraron variables ambientales potencialmente relacionadas con la actividad vocal, incluyendo la humedad relativa, temperatura, la intensidad lumínica, y el nivel de ruido ambiental. La intensidad lumínica se midió con un luxómetro digital marca PEAK METER modelo “PM6612”. El ruido ambiental se midió mediante un sonómetro de la marca TOPTES modelo “TS-501B”, el cual cuenta con sensores integrados para registrar un gradiente de ruido con un rango de medición de 30 a 130 dB, una precisión de ± 1.5 dB y una resolución de 0.1 dB. El sonómetro se utilizó con la calibración de fábrica. La temperatura (0° a 50°) y humedad (20–80%) se midieron con el mismo sonómetro que incluye sensores para estos parámetros ambientales. Todas las mediciones se realizaron aproximadamente una hora después de la puesta del sol (entre las 19:00 y 20:00 h), con el fin de registrar las condiciones ambientales predominantes una vez activada la iluminación artificial urbana al mismo tiempo de

registrar la intensidad de ruido ambiental presente en cada sitio asociado a un individuo territorial. Asumimos que las condiciones lumínicas artificiales de los sitios urbanos no cambiaron hasta antes del amanecer, sino hasta el momento de apagado del alumbrado público. Sin embargo, aunque se predice variación del ruido ambiental a lo largo del periodo entre el anochecer y amanecer, asumimos que la lectura de ruido en cada sitio en las horas en que se tomaron medidas, es una representación adecuada de las variaciones ambientales de luminosidad y ruido que se presentan entre sitios urbanos y no-urbanos. El pico de actividad matutina de tráfico en Morelia ocurre a partir de las 06:30, justo al término del periodo de grabación de los audio-moths, periodo a partir del cual coincidió con un declive significativo de la actividad vocal de nuestra especie (Villalobos Ponce 2023, Salgado Ortiz, obs. Pers). Por otro lado, debido a limitaciones logísticas y por la distancia entre sitios, no fue posible tomar mediciones de luminosidad y ruido ambiental entre las 04:00 y antes del amanecer (05:30).

Análisis Acustico

Se utilizó el software *Raven Pro* versión 1.6 para analizar los sonogramas de los diferentes individuos grabados en los sitios de estudio. Cada grabación tuvo una duración de 02:30 horas acumuladas por individuo divididas en periodos de 15 minutos, obteniendo entonces 10 segmentos de grabación por individuo. En cada sonograma se registró la hora de inicio del coro, definida como el momento en que fue emitido el primer canto por el macho focal del territorio. La hora de finalización del coro, correspondiente al momento en que se registró el último canto al final del periodo de grabación. A partir de estas medidas se estimó la duración del coro, definida como el intervalo de tiempo comprendido entre la hora inicial y la hora final del coro durante el periodo de grabación. Posteriormente, se cuantificó el numero total de cantos en cada periodo de 15min para así obtener la variación en la tasa de cantos promedio para cada intervalo desde las 04:00 hasta las 06:30 comparando los valores para cada intervalo entre sitios urbanos y no-urbanos. Dado que se realizaron grabaciones durante dos días para cada individuo, se obtuvo el promedio de cantos emitidos por cada periodo de 15 min, usando este valor para las comparaciones entre sitios. Se cuantificó además el número total de cantos para todo el intervalo de grabación y se determinó el promedio global total de cantos entre sitios.

Análisis Estadístico

Para evaluar la variación en el patrón de actividad del coro matutino entre sitios, se aplicó una prueba no paramétrica de Friedman, utilizando el número promedio de cantos como variable respuesta. El análisis se realizó comparando los intervalos de tiempo como bloques y los individuos como tratamientos, con el fin de evaluar diferencias en la actividad vocal a lo largo del periodo de grabación matutina.

El tamaño del efecto se estimó mediante el coeficiente de concordancia de Kendall's W. Posteriormente, se realizaron comparaciones por pares mediante pruebas de Wilcoxon signed-rank test con corrección de Bonferroni para identificar diferencias significativas entre los patrones de canto por cada intervalo de ambos sitios (urbanos vs. No-urbanos).

Relación de patrones de canto con variables ambientales

Para cada una de las variables ambientales tomadas en cada territorio (intensidad lumínica nocturna, nivel de ruido, temperatura y humedad relativa), se determinó primero la normalidad mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Posteriormente se analizaron las variaciones en las métricas entre los territorios ubicados en zonas urbanas y no urbanas mediante la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U con el objetivo de evaluar si las condiciones ambientales diferían entre ambos tipos de hábitat.

Posteriormente, se evaluó la asociación entre las variables ambientales mediante matrices de correlación utilizando el coeficiente de Pearson, asociado a un análisis de componentes principales con el fin de reducir la dimensionalidad de los datos y sintetizar la variación ambiental en un menor número de variables independientes. El primer componente principal (PC1) fue utilizado como una variable sintética representativa del gradiente ambiental entre territorios en los análisis posteriores. Finalmente, se ajustaron modelos lineales (ML) para evaluar la relación entre el gradiente ambiental representado por PC1 y las variables de actividad vocal (Hora de inicio, hora final, duración del coro, y tasa de cantos). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando funciones del paquete base de RStudio versión 4.5.2.

Objetivo 2: Estructura y repertorio de cantos

Para este objetivo se utilizaron grabaciones tanto obtenidas con los Audiomoths, así como también grabaciones focales que se obtuvieron durante la misma temporada de reproducción entre marzo a mayo. Las grabaciones focales fueron de individuos distintos ubicados temprano por la mañana tanto en los sitios urbanos como no-urbanos. Para cada individuo focal se realizaron grabaciones utilizando una grabadora Zoom Hn4 con un micrófono Sennheiser ME66/K6. Las grabaciones se realizaron entre las 05:30 a 06:30 con un rango de tiempo que varió de entre 3.0 hasta 10.0 minutos de grabación como resultado de la suspensión del canto de individuos, por que se alejaron del sitio focal de grabación.

Análisis de vocalizaciones

Para cada sonograma se llevó a cabo una revisión supervisada por pares para clasificar los tipos de canto registrados. Los cantos, se clasificaron en dos tipos: **1)** cantos complejos; siendo aquellos que presentaron mas de dos silabas distintas mezcladas o intercaladas a lo largo del canto y **2)** trinos; siendo todos aquellos cantos compuestos por la presencia de un mismo tipo de silaba visible repetida en el canto (Figura 9). Cabe mencionar, que los cantos podrían o no presentar la nota introductoria denominada aquí para fines de identificación como “nota a” que es hemitada unicamente al inicio de cada canto y en una sola ocacion, sin embargo, esta nota no fue considerada al momento de hacer la clasificación de los cantos.

Para fines comparativos, solo se describieron las silabas identificadas en los trinos (cantos tipo 2), debido a su estructura más sencilla y con el fin de poder comparar la variación entre los machos seleccionados de los distintos sitios muestreados. A cada tipo de trino le fue e asignado una etiqueta, utilizando letras en orden de acuerdo al abecedario, según fuera distinta la silaba identificada en los cantos analizados.

Finalmente, una vez que se logro la identificación de cada tipo de trino y que por lo tanto cada silaba estuviera ya asignada con su letra representativa, se busco el trino más frecuente compartido entre los machos de ambos sitios, urbanos y no-urbanos, para así poder comparar las distintas métricas del canto entre los grupos de individuos pertenecientes a cada tipo de ambiente. Las métricas utilizadas para fines comparativos fueron: duración del trino (s), frecuencia mínima (kHz), frecuencia

máxima (kHz), el número de sílabas totales en el trino, tasa de sílabas y tiempo entre un trino y otro (“intervalo de tiempo”), (Figura 10). Estas métricas se realizaron en cinco diferentes trinos de cada individuo con la finalidad de generar mayor poder estadístico y estandarizar las mediciones.

Todo el análisis acústico fue realizado con el Software Raven Pro 1.6 y las condiciones de trabajo dentro del programa fueron mediante la generación de espectrogramas con un filtro de ancho de banda (filter bandwidth) de 349.7 Hz y una longitud del marco (frame length) de 512 puntos. Todas las mediciones fueron realizadas por el mismo observador y bajo las mismas características para minimizar la variabilidad en la delimitación de métricas en las vocalizaciones.

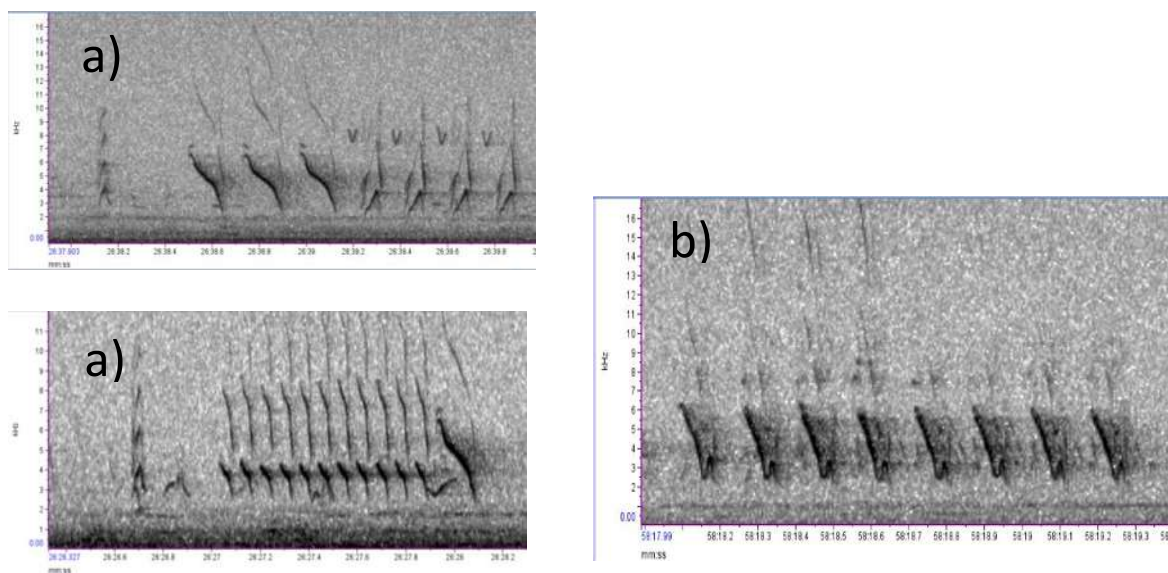


Figura 9. Espectrogramas de dos cantos distintos de un macho de *Melospiza fusca* **a)** que muestran la combinación de distintas notas y elementos en un mismo canto. **b)** Espectrograma de un trino donde se muestra la estructura donde se repite un solo tipo de sílaba

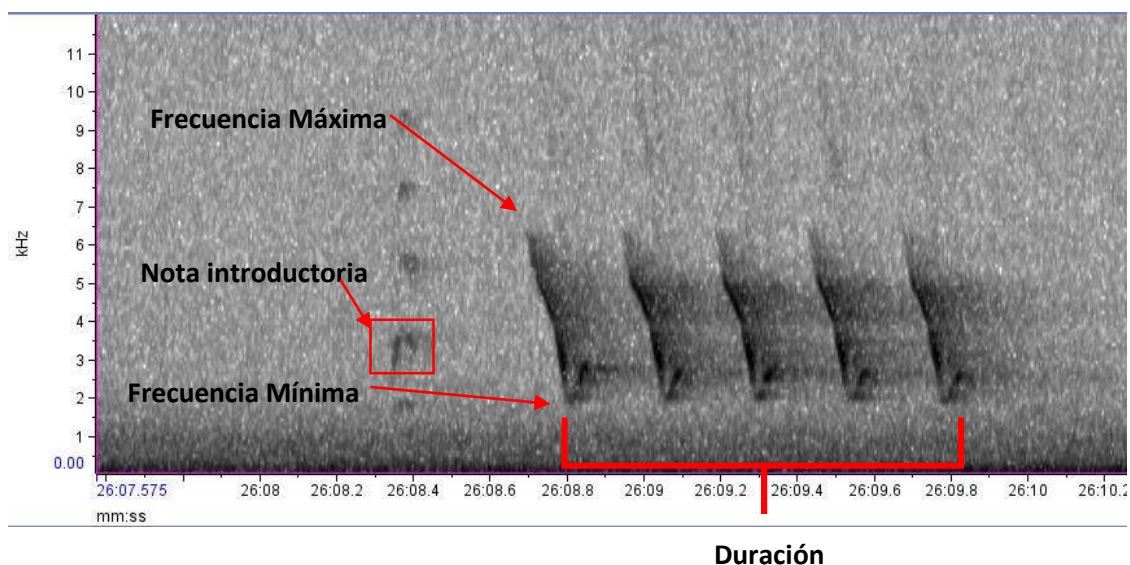


Figura 10. Espectrograma de un trino de Melozone fusca donde se muestran las métricas que fueron consideradas para fines comparativos entre individuos de sitios urbanos vs silvestres.

Analisis estadístico

Con la base de presencia y ausencia se calculó la proporción de individuos que emitieron cada tipo de trino con la finalidad de identificar la frecuencia de ocurrencia de los diferentes tipos de trinos y determinar cuáles fueron los más comunes y cuales más raros dentro de la población. Se calculó la estadística descriptiva (media, desviación estándar y rango) para conocer el numero de trinos presentes por individuo así como la proporción de los tipos de trino por sitio. Para evaluar la similitud en la composición del repertorio entre sitios, se estimó la distancia de Jaccard mediante el paquete *vegan* de *RStudio*, la cual mide el grado de similitud en la composición de elementos entre muestras basándose en datos de presencia-ausencia (Jaccard, 1901; Legendre y Legendre, 2012).

Se evaluó el efecto de variables ambientales como el ruido ambiental y la intensidad de luz sobre distintas variables acústicas del canto (frecuencia máxima (kHz), frecuencia mínima (kHz), duración del trino (s), número de notas, tasa de notas e intervalo de tiempo transcurrido entre los trinos; mediante modelos lineales mixtos. Para cada variable respuesta, se ajustaron tres modelos: uno que incluyó el ruido como

predictor fijo, otro con la luz, y un tercero que incluyó ambos predictores. Adicionalmente, se ajustó un modelo nulo que incluyó únicamente el intercepto, con el fin de comparar el poder explicativo de los modelos con variables ambientales. En todos los modelos se incluyó la identidad del individuo como efecto aleatorio, con el objetivo de controlar la no independencia de las mediciones repetidas por individuo. No se incluyó el sitio como efecto aleatorio debido al número limitado de niveles ($n=13$).

La selección del modelo más adecuado se realizó mediante el criterio de información de Akaike (AIC), considerando como mejor modelo aquel con el menor valor de AIC. Asimismo, se calcularon los valores de ΔAIC para comparar el soporte relativo entre modelos. Para los modelos seleccionados, se obtuvieron los coeficientes de los efectos fijos, así como sus errores estándar y valores de significancia. Además, se estimaron los coeficientes de determinación marginal (R^2 marginal), que representan la varianza explicada por el efecto fijo, y condicional (R^2 condicional), que incluye tanto efecto fijo como aleatorio. Todos los análisis se realizaron en el software de RStudio versión 5.4.2, utilizando los paquetes de “*lme4*” para el ajuste de modelos mixtos e “*lmerTest*” para la obtención de valores de significancia.

RESULTADOS

Objetivo 1: Fenología del canto matutino

Encontramos variaciones significativas en la actividad vocal de los machos de *M. fusca* a lo largo del coro matutino [prueba de Friedman ($\chi^2 = 44.64$, $df = 22$, $p = 0.0029$)], no obstante, el bajo valor de Kendall's ($W = 0.202$) indica que dichas variaciones no fueron consistentes entre individuos.

Las comparaciones post hoc por pares indicaron que únicamente el 16% de las comparaciones resultaron significativas. A partir de estas comparaciones significativas, se realizó una clasificación según el tipo de sitio de los individuos involucrados, encontrándose que el 5.4% correspondió a comparaciones entre machos de zonas no-urbanas, el 21.6% a machos de zonas urbanas y el 72.9% a comparaciones entre machos de zonas no-urbanas y urbanas. La mayoría de las diferencias se presentan en la actividad vocal entre estos grupos.

En promedio, los individuos en zonas no-urbanas tuvieron una mayor frecuencia de vocalización entre las 05:30 y 06:15 horas, mientras que en la zona urbana fue de 05:00 a 05:45 horas. Sin embargo, la diferencia más marcada fue que los individuos en zonas urbanas vocalizaron desde las 04:00 horas y continuaron vocalizando hasta las 06:30 horas, mientras que los de zonas no-urbanas lo hicieron a partir de las 05:00 horas. Los resultados muestran que en la población urbana comienza el coro del amanecer más temprano ($\bar{x} = 04:36:46$ am), mientras que en zona no-urbana comienzan en promedio hasta 26 minutos más tarde ($\bar{x} = 05:02:57$ am). La duración del coro matutino es más larga en los sitios urbanos ($\bar{x} = 87$ minutos (rango: 04:36:46-06:03:24 am) en contraste a los sitios no-urbanos ($\bar{x} = 45$ minutos, (rango: 05:02:57-05:48:21 am). La tasa de cantos fue mayor en la zona urbana ($\bar{x} = 32.39$ cantos /15 min) que en la no-urbana ($\bar{x} = 18.33$ cantos/15 min) (Fig. 11).

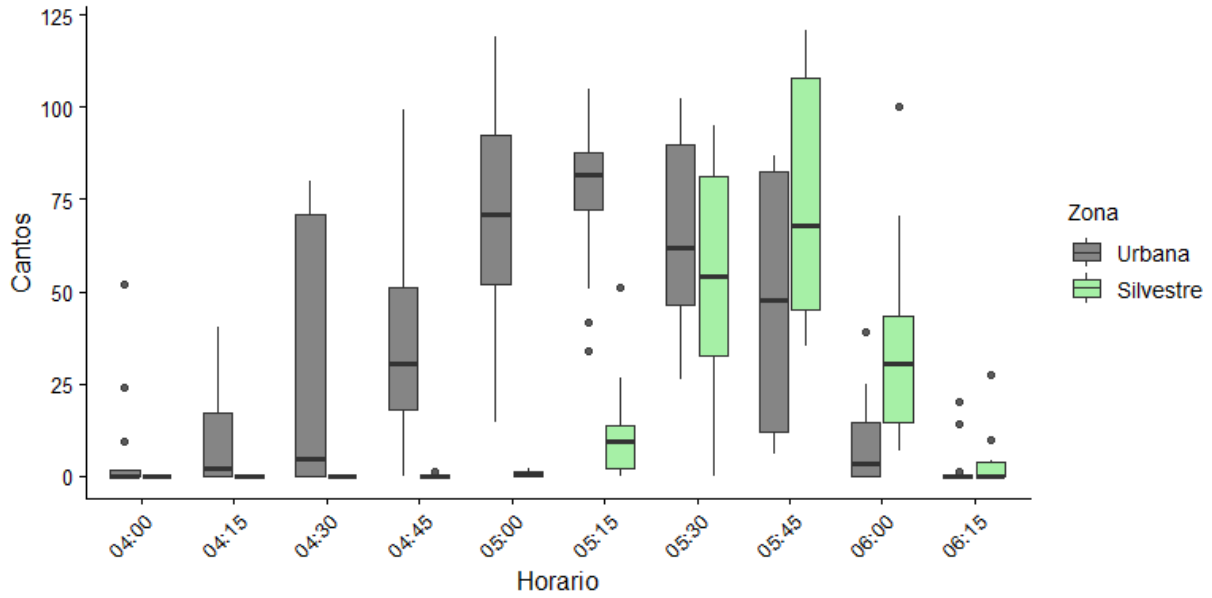


Figura 11. Fenología y frecuencia de cantos emitidos por el Rascador Viejita (*M. fusca*) durante el periodo entre 04:00 y 06:30 en sitios urbanos vs silvestres

Asociación de variables ambientales

La prueba de Shapiro-Wilk mostro que ninguna de las variables ambientales presentó distribución normal ($p < 0.05$, en todos los casos), por lo que la comparación no paramétrica fue a través de la prueba U de Mann-Whitney. Las variables ambientales difirieron significativamente entre territorios urbanos y no urbanos; temperatura ($W = 0$, $p < 0.001$), humedad relativa ($W = 130$, $p < 0.001$), nivel de ruido ($W = 0$, $p < 0.001$) e intensidad lumínica ($W = 0$, $p < 0.001$) (Fig. 12).

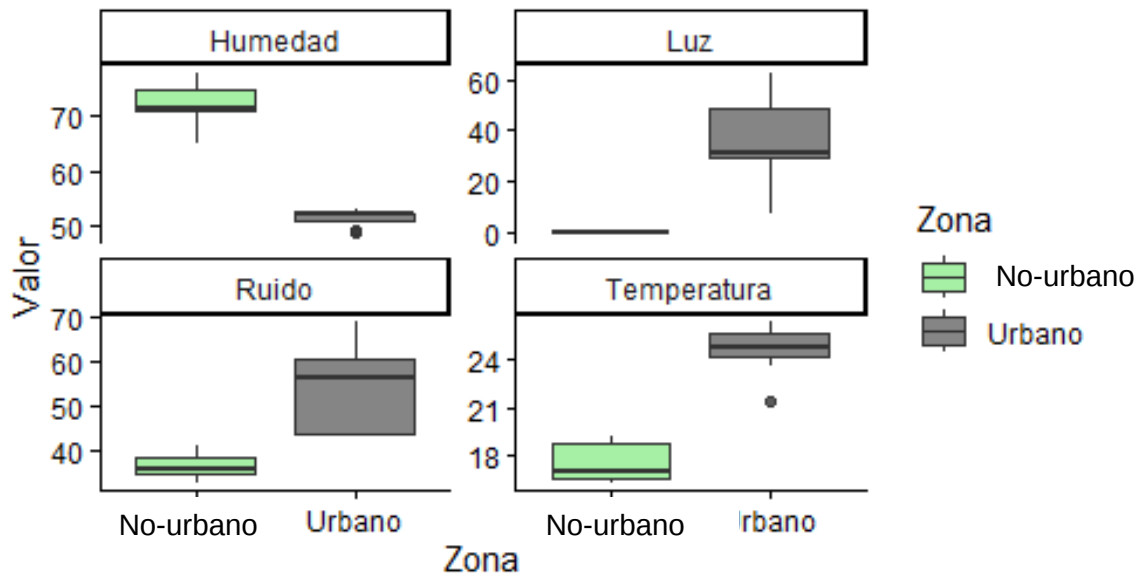


Figura 12. Comparacion de variables ambientales (Porcentaje de humedad relativa, Ruido instantáneo, Luminosidad nocturna y Temperatura °C) entre los territorios ubicados en sitios urbanos y no-urbanos de los machos de *M. fusca*.

El análisis de correlación entre las variables ambientales, utilizando el coeficiente de Pearson reveló asociaciones fuertes entre algunas variables ambientales (Tabla 6). La temperatura mostró una correlación negativa muy alta con la humedad relativa ($r = -0.94$), mientras que se observaron correlaciones positivas altas entre temperatura, ruido e intensidad lumínica ($r = 0.84-0.86$). Estos resultados indican una fuerte colinealidad entre las variables ambientales medidas.

Tabla 6. Correlacion entre variables ambientales medidas en los territorios de machos de la especie *M. fusca*

	Temperatura	Humedad	Ruido	Luz
Temperatura	1.00	-0.94	0.86	0.84
Humedad	-0.94	1.00	-0.76	-0.73
Ruido	0.86	-0.76	1.00	0.76
Luz	0.84	-0.73	0.76	1.00

Debido a la alta colinealidad detectada entre las variables ambientales, se realizó un Análisis de Componentes Principales con el objetivo de reducir la dimensionalidad de

los datos. El primer componente principal (PC1) explicó el 86.16% de la varianza total, por lo que fue utilizado como una variable sintética representativa del gradiente ambiental entre territorios. Las cargas de las variables en PC1 mostraron valores positivos para temperatura (0.53), ruido (0.49) e intensidad lumínica (0.48), mientras que la humedad relativa presentó una carga negativa (-0.50). Este patrón indica que PC1 representa un gradiente ambiental caracterizado por mayores niveles de temperatura, ruido e iluminación artificial y menor humedad relativa (Fig 12).

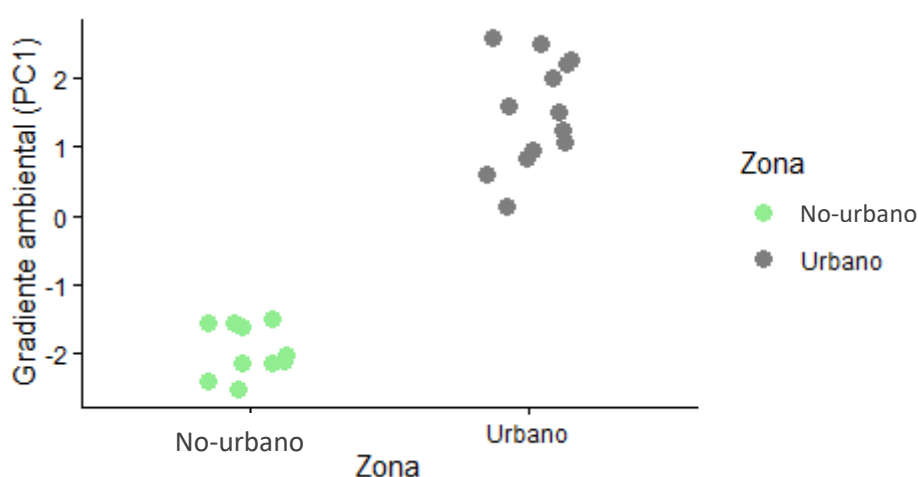


Figura 13. Agrupación de los valores de CP1 representando las condiciones de luz nocturna, ruido, temperatura y porcentaje de humedad relativa en cada zona de estudio.

Los modelos lineales mostraron que el gradiente ambiental (PC1_ambiente) tuvieron una relación significativa con la mayoría de las variables de respuesta del comportamiento de canto (Tabla 7). El número total de cantos aumentó con valores más altos de PC1_ambiente, asimismo, la hora de inicio del canto se relacionó negativamente con PC1_ambiente, mientras que la duración del coro mostró una relación positiva con este gradiente. En contraste, la hora de finalización del canto no presentó una relación significativa con PC1_ambiente.

Tabla 7. Resultados de los modelos lineales de la fenología del coro matutino de los machos de *M. fusca* asociado a distintas variables ambientales (Luminosidad nocturna, ruido, temperatura y porcentaje de humedad relativa)

Modelo	β	SE	t	p	R ²	R ²
						Ajustada
Total de cantos ~ PC1	46.58	12.36	3.77	0.00113	0.40	0.38
Hora de Inicio ~ PC1	-13.04	2.21	-5.89	0.00001	0.62	0.61
Hora de Final ~ PC1	-2.16	1.12	-1.93	0.06769	0.15	0.11
Duración del coro ~ PC1	10.88	2.46	4.43	0.00023	0.48	0.46

Objetivo 2: Estructura y repertorio de cantos

Se Acumularon un total de 20.5 horas de grabación correspondientes a 27 machos (15 con territorios dentro de la zona urbana de la ciudad de Morelia y 12 en sitios no-urbanos), encontrando 31 cantos distintivos del tipo 1, y 34 tipos de trino con silabas repetidas (canto tipo 2). En total se identificaron 34 silabas distintas en los trinos de *M. fusca*. El número de tipos de trino emitidos por individuo fue en promedio de 3.6 ± 2.2 , con un rango de 1 a 8 tipos de trino ($n = 26$ machos).

El tamaño del repertorio también mostro variaciones entre sitios. Los valores oscilaron entre 1.0 a 5.5 tipos de trino por sitio (Tabla 8).

Tabla 8. Promedio de tipos de trinos emitidos por los machos de *M. fusca* en los distintos sitios urbanos y No-urbanos comparados.

Sitio	Zona	n	$\bar{x}$ tipos de trino $\pm$ DE (rango)
Bosque			
Cuahutemoc	Urbana	3	4.3 ± 1.5 (3-6)
CU	Urbana	1	$1.0 \pm NA$ (1-1)
Felix Ireta	Urbana	2	2.0 ± 0 (2-2)
INIRENA	Urbana	3	1.6 ± 1.54 (1-3)
Planetario	Urbana	4	3.75 ± 2.62 (1-6)
Santa Cecilia	Urbana	2	5.5 ± 2.12 (4-7)
La planta	No urbana	1	$2.0 \pm NA$ (2-2)
Parque Uruapan	No urbana	2	5.0 ± 2.82 (3-7)
Predio Nahum	No urbana	2	4.5 ± 4.94 (1-8)
Tocuz	No urbana	2	3.0 ± 2.82 (1-5)
Atecuaro	No urbana	2	4.0 ± 0 (4-4)
Cerro del aguila	No urbana	2	4.5 ± 0.70 (4-5)

La presencia de los distintos trinos en cada sitio fue variable, siendo el tipo de trino “d” el de mayor frecuencia en los sitios (39%), aunque también se registraron algunos trinos menos comunes con solo el (4%) (Tabla 9).

Tabla 9. Proporción de los tipos de trino emitidos por los machos de *M. fusca* sin distinción de sitio (urbano y no-urbano).

Tipo_trino	Frecuencia	Proporción
d	10	39
h_prime	8	31
e_prime	7	27
a_prime	6	23
g	6	23
l	6	23
j	5	19
k_prime	4	15
h	3	12
m_prime	3	12
q	3	12
s	3	12
b	2	8
d_prime	2	8
e	2	8
g_prime	2	8
j_prime	2	8
k	2	8
t	2	8
c	1	4
f	1	4
i	1	4
l_prime	1	4
m	1	4
n	1	4
o	1	4
p	1	4
r	1	4
u	1	4
v	1	4
w	1	4
x	1	4
y	1	4
z	1	4

La interacción del ruido y luminosidad integraron el mejor modelo para explicar la variación en la frecuencia alta y mínima del canto; no obstante, la varianza explicada por estos factores fue baja (R^2 marginal = 0.006 para frecuencia alta y 0.069 para frecuencia baja). Con respecto a la duración del trino, el número de notas, la tasa de notas y el intervalo de tiempo entre un trino y otro, el mejor modelo fue el nulo ($\Delta AIC = 0$) (Tabla 10). Al comparar con el AIC los 4 modelos construidos para las seis variables bioacústicas evaluadas (24 modelos en total) se observó que, en las variables como la duración del trino, el número de notas, la tasa de notas y el intervalo de tiempo entre un trino y otro, el mejor modelo fue el nulo ($\Delta AIC = 0$), indicando ausencia del efecto de la Luz y el ruido sobre dichas variables bioacústicas, mientras que los coeficientes de determinación indicaron que, aunque los modelos que incluyeron ruido y luz fueron seleccionados como los mejores para las variables de frecuencia; la varianza explicada por estos factores fue baja (R^2 marginal = 0.006 para frecuencia alta y 0.069 para frecuencia baja). En contraste, los valores de R^2 condicional fueron elevados (> 0.84), lo que sugiere que la mayor parte de la variación es atribuible a diferencias entre individuos. Para las variables temporales (duración, tasa de notas, número de notas e intervalo), el R^2 fue igual a cero, indicando que los factores ambientales evaluados no explican su variación, mientras que los altos valores de R^2 condicional reflejan nuevamente una fuerte contribución de la variabilidad individual (Tabla 10).

Tabla 10. Modelos de respuesta de variables acústicas del canto de *M. fusca* con relación a variables ambientales. Se resalta en negrita el mejor modelo con el Criterio de Acaike (ΔAIC).

Modelo	Variable respuesta	Efecto fijo	Efecto aleatorio	df	AIC	ΔAIC
1	High_Freq	Nulo	Individuo	3	974.97	10.65
2	High_Freq	Ruido	Individuo	4	968.80	4.48
3	High_Freq	Luz	Individuo	4	971.07	6.75
4	High_Freq	Ruido+Luz	Individuo	5	964.32	0.00
1	Low_Freq	Nulo	Individuo	3	899.45	9.79
2	Low_Freq	Ruido	Individuo	4	893.07	3.41
3	Low_Freq	Luz	Individuo	4	896.09	6.43
4	Low_Freq	Ruido+Luz	Individuo	5	889.66	0.00
1	Duracion	Nulo	Individuo	3	-58.49	0.00

2	Duracion	Ruido	Individuo	4	-48.19	10.30
3	Duracion	Luz	Individuo	4	-46.02	12.47
4	Duracion	Ruido+Luz	Individuo	5	-35.74	22.75
1	Tasa_notas	Nulo	Individuo	3	155.56	0.00
2	Tasa_notas	Ruido	Individuo	4	158.76	3.19
3	Tasa_notas	Luz	Individuo	4	160.98	5.42
4	Tasa_notas	Ruido+Luz	Individuo	5	166.75	11.19
1	Numero_notas	Nulo	Individuo	3	159.20	0.00
2	Numero_notas	Ruido	Individuo	4	161.33	2.13
3	Numero_notas	Luz	Individuo	4	163.72	4.52
4	Numero_notas	Ruido+Luz	Individuo	5	168.80	9.60
1	Intervalo	Nulo	Individuo	3	133.82	0.00
2	Intervalo	Ruido	Individuo	4	140.70	6.88
3	Intervalo	Luz	Individuo	4	143.07	9.25
4	Intervalo	Ruido+Luz	Individuo	5	149.74	15.92

En conjunto, estos resultados sugieren que las aves presentan ajustes limitados en la frecuencia del canto frente a condiciones ambientales, mientras que la estructura temporal del canto permanece inalterada, estando principalmente determinada por diferencias entre individuos. Estos resultados indican que, bajo las condiciones muestreadas, las variables ambientales analizadas no explican variación en la estructura acústica del trino.

DISCUSIÓN

Los resultados revelaron diferencias significativas entre la actividad vocal de las aves entre ambientes urbanos y no-urbanos. En primer lugar, encontramos que la tasa de emisión de cantos fue más alta en los sitios urbanos en comparación con los no-urbanos. Esta mayor actividad vocal en zonas urbanizadas podría estar relacionada con varios factores, como una mayor densidad poblacional, la necesidad de aumentar la detectabilidad en ambientes ruidosos, o incluso una posible plasticidad conductual frente a condiciones alteradas por el ser humano (Slabbekoorn y Peet, 2003; Nemeth y Brumm, 2010). En entornos urbanos, donde la competencia acústica es alta debido al ruido antropogénico, las aves podrían compensar repitiendo sus cantos más frecuentemente para asegurar su transmisión efectiva. Además, observamos que los individuos en sitios urbanos comenzaron a cantar más temprano teniendo una duración mas prolongada del coro matutino que aquellos en sitios no-urbanos; este comienzo del coro matutino más temprano ha sido ampliamente documentado como una respuesta al ruido ambiental matutino generado por actividades humanas (Gil et al., 2015; Dominoni et al., 2016) y en otras especies ya se ha registrado el aumento de la frecuencia máxima a la que cantan los individuos que habitan entornos mas urbanizados (Cueva et al., 2025). Los hallazgos respaldan esta interpretación ya que el modelo lineal explicó un porcentaje alto de la variabilidad en la hora de inicio, y mostró que el ruido ambiental estuvo significativamente asociado con un inicio más temprano del canto. Este resultado sugiere que las aves urbanas podrían estar modificando su comportamiento temporal para anticiparse al pico de ruido y así mantener la eficacia de su señal acústica (Arroyo-Solís et al., 2013).

Además de que los machos comienzan el coro matutino más temprano, también registramos una variedad de tipos de cantos distintos entre las poblaciones de sitios urbanos y no-urbanos; el amplio catálogo de sílabas que conforman los cantos podría estar asociado a la interacción de factores ambientales, particularmente la estructura del hábitat y la transmisión de sonido, que afectan la transmisión y percepciones de señales acústicas, favoreciendo aquellas características del canto que se transmiten de manera más eficiente en cada entorno (Tobias et al., 2010); ya que algunas

especies tienden a simplificar o modificar su canto para mejorar su transmisión en presencia de ruido de baja frecuencia (Slabbekoorn y den Boer-Visser, 2006), como es el caso de lo reportado para *Melospiza leucotis*, especie en la que las poblaciones urbanas modifican la duración y frecuencia de sus cantos en respuesta al ruido ambiental y el aislamiento urbano (Cueva et al., 2025). Este patrón evidencia que la urbanización no solo afecta la frecuencia y temporalidad del canto, sino también induce cambios estructurales que pueden mejorar la transmisión en ambientes ruidosos. Diversos estudios han documentado que el ruido antropogénico puede inducir cambios en la estructura del canto de las aves, particularmente en la frecuencia máxima y mínima, variables mayormente implicadas al momento de evaluar el efecto del ruido antropogénico, ya que se ha reportado una tendencia a aumentar en presencia de mayor cantidad de ruido ambiental (Ríos-Chelén et al., 2017). Sin embargo, en otras variables, como la duración, también se reporta un efecto (Slabbekoorn, 2005; Patricelli y Blickley, 2006; Ríos-Chelén, 2009; Winandy et al., 2021) ante el ruido que logra enmascarar las señales acústicas emitidas. En cambio, nuestros resultados reflejaron únicamente una tendencia de un impacto del ruido o la luminosidad sobre las variables medidas al tipo de trino que se eligió (tipo “D”), estos resultados sugieren que, en el contexto espacial y temporal evaluado, la estructura del canto se mantiene relativamente estable a lo largo del gradiente de urbanización considerado; Aunque, es necesario considerar el resto del repertorio para descartar que no hay relación directa del ruido y la luz sobre el cambio en las frecuencias de canto.

Aunque identificamos 34 tipos de trinos en poblaciones urbanas y no-urbanas combinadas, ninguno fue compartido al 100% entre todos los sitios representados. Esto sugiere una variación estructural en los cantos posiblemente relacionada con las condiciones acústicas del hábitat. Una posible explicación para este patrón es que los individuos de *M. fusca* posean un rango de frecuencias que ya se encuentra parcialmente fuera del espectro dominante del ruido urbano, lo que reduciría la presión selectiva para modificar la estructura del canto (Slabbekoorn, 2013). Alternativamente, los individuos podrían emplear estrategias no relacionadas a la estructura, si no más bien temporales, como lo muestran los resultados del ajuste de horario en el que comienzan su coro, es decir logrando modificar el momento de emisión del canto como

estrategia para evitar por ejemplo la hora pico de ruido (Muñoz-Santos et al., 2025), o seleccionar microhábitats con menor interferencia acústica, estrategias ampliamente documentadas en aves urbanas (Brumm, 2004; Nemeth et al., 2013). De manera similar ocurre con la presencia de ALAN, factor que se ha asociado principalmente con cambios en los patrones temporales de canto, como adelantos en la hora de inicio de la actividad vocal o incrementos en la duración diaria del canto, más que con cambios a nivel estructural (Kempenaers et al., 2010; Da Silva et al., 2014), y aunque el modelo no mostró una asociación fuerte de la luz artificial nocturna con los niveles de frecuencia y la duración de los trinos, si podría estar causando un efecto en sinergia con el ruido como para afectar la fenología del coro matutino como lo muestran los resultados.

Es importante señalar que las métricas acústicas se obtuvieron a partir de una submuestra limitada de cantos por individuo registrados, y en ventanas temporales específicas, lo que puede estar ocasionando que no necesariamente se capturara la totalidad del repertorio ni la variabilidad completa de cada individuo. Estudios previos han demostrado que las curvas de acumulación de elementos del canto pueden requerir un esfuerzo de muestreo considerable para aproximarse al repertorio real (Cardoso y Mota, 2007; Cardoso et al., 2009). Además, la ausencia de efectos significativos de las variables que utilizamos no implica necesariamente la ausencia de respuestas vocales ante el fenómeno de la urbanización, sino que estas respuestas podrían expresarse en otros aspectos biológicos y conductuales no evaluadas en este estudio, como por ejemplo la variabilidad inter-canto, o los patrones de interacción social (Luther y Baptista, 2010; Phillips et al., 2020), recordando que esta especie es altamente territorial (Villalobos-Ponce 2023, Jhonson 2020) y la presencia de otros machos cercanos podría estar teniendo una influencia sobre la estructura de los trinos mas que la presencia de factores externos como la luz y el ruido. Por lo tanto, las diferencias podrían deberse a una combinación de factores, incluyendo selección acústica, aprendizaje vocal, variaciones en el repertorio individual e incluso diversidad genética (Catchpole y Slater, 2008; Cueva et al., 2025); indicando que la adaptación acústica puede estar mediada tanto por presiones ambientales inmediatas como por procesos evolutivos a largo plazo. Por otro lado, la falta de diferenciación acústica

entre sitios podría tener implicaciones para la comunicación intraespecífica y la selección sexual, particularmente si las hembras no perciben diferencias claras en la calidad del canto asociadas al ambiente (Searcy y Andersson, 1986), queda la posibilidad de evaluar que debido a que ya es un ave establecida y tolerante a los ambientes urbanos, no necesariamente mitiga únicamente los efectos de la antropización a través de su estructura vocal, si no de la heterogeneidad de sílabas emitidas y la plasticidad del total de su repertorio.

En conjunto, estos hallazgos refuerzan la idea de que la urbanización no solo altera la frecuencia y temporalidad del canto, sino también su estructura interna, promoviendo respuestas conductuales adaptativas que podrían tener implicaciones en la comunicación, el emparejamiento y la competencia intraespecífica. Lo más evidente fue que el coro del amanecer se ha registrado más temprano en sitios urbanos que en sitios no-urbanos. Este resultado sugiere que los patrones pueden estar siendo afectados por la sinergia de múltiples factores incluso de la combinación de los dos únicos que se proponen en el presente estudio, como se ha encontrado en otros estudios (Foppe et al., 2024).

CONCLUSIÓN

Las poblaciones urbanas cantan con mayor frecuencia y comienzan su coro del amanecer más temprano que las poblaciones no-urbanas. Este resultado sugiere que la variación en la fenología y frecuencia del canto podría estar asociada con la presencia de luz artificial y ruido constante en ambientes urbanos. Sin embargo, las métricas de frecuencia y duración dentro de los trinos no mostraron una asociación fuerte con las variables evaluadas en este estudio.

A pesar de ello, se identificó un amplio repertorio vocal en todos los sitios muestreados, así como la presencia de cantos particulares en distintos sitios. Esto podría reflejar la plasticidad en la incorporación de nuevos cantos asociados al hábitat específico en el que habitan los individuos.

En conjunto, los hallazgos resaltan la importancia de incorporar diseños de muestreo que consideren escalas temporales más amplias, mayores tamaños de muestra y variables conductuales complementarias. Esto permitirá comprender de manera más integral las respuestas de *Melospiza fusca* ante el proceso de urbanización y sus efectos a nivel contextual.

REFERENCIAS

- Arroyo-Solís, A., Castillo, J. M., Figueroa, E., López-Sánchez, J. L., y Slabbekoorn, H. (2013). Experimental evidence for an impact of anthropogenic noise on dawn chorus timing in urban birds. *Journal of Avian Biology*, 44(3), 288–296.
- Bonilla Badilla, K. (2021). Variación cultural en los cantos del cuatro ojos de jupa negra (*Melospiza leucotis*) a través del tiempo. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica. Repositorio Institucional Kérvá. <https://hdl.handle.net/10669/96672>
- Bota, G., Manzano-Rubio, R., Catalán, L., Gómez-Catasús, J., y Pérez-Granados, C. (2023). Hearing to the Unseen: AudioMoth and BirdNET as a Cheap and Easy Method for Monitoring Cryptic Bird Species. *Sensors*, 23(16), 7176.
- Bradbury, J. W. y S. L. Veherencamp. 1988. Principles of Animal Communication. Territorial signaling games. Sinauer Associates, Inc. San Diego. pp. 712-726.
- Briseño-Jaramillo, M., Hutschenreiter, A., Aureli, F., y Ríos-Chelén, A. A. (2025). Passive acoustic monitoring and acoustic indices reveal noise-related changes in bird vocalisations. *Bioacoustics*, 34(2), 167-187.
- Brumm, H. 2004. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology* 73:434–440.
- Brumm, H., y Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behavior*, 35, 151–209.
- Cardoso, G. C., y Mota, P. G. (2007). Song diversification and complexity in canaries and seedeaters (*Serinus* spp.). *Biological journal of the Linnean Society*. 92(1), 183-194.
- Cardoso, G. C., Atwell, J. W., Ketterson, E. D., y Price, T. D. (2009). Song types, song performance, and the use of repertoires in dark-eyed juncos (*Junco hyemalis*). *Behavioral Ecology*, 20(4), 901-907.
- Castillo Carrasco, A. Chamba Flores, Y (2021). Impacto de la contaminación lumínica en la diversidad de aves. *Innova Biology Sciences*, 1(2). Pp. 33 – 49

- Catchpole, C. K., y Slater, P. J. B. (2008). *Bird Song: Biological Themes and Variations*. Cambridge University Press.
- Ciuti, S., Northrup, J. M., Muhly, T. B., Simi, S., Musiani, M., Pitt, J. A., y Boyce, M. S. (2012). Effects of humans on behaviour of wildlife exceed those of natural predators in a landscape of fear. *PLoS ONE*, 7(11), e50611.
- Cooper, B. G. (2014). From Darwin to neuroethology: The role of sexual selection in the evolution of acoustic complexity in birdsong. In F. J. Ayala y F. J. Cела-Conde (Eds.), *Darwin and the behavioural sciences* (pp. 159–176). Fundación BBVA.
- Cueva, L., Fuchs, E. J., Barrantes, G., Madrigal-Brenes, R., y Sandoval, L. (2025). Effect of spatial and temporal urban isolation on the genetic diversity, acoustic variation, and morphological characteristics of an urban survivor bird species. *Ecology and Evolution*, 15(4), e70972.
- Da Silva, A., y Kempenaers, B. (2017). Singing from North to South: latitudinal variation in timing of dawn singing under natural and artificial light conditions. *Journal of Animal Ecology*, 86(6), 1286-1297.
- Da Silva, A., Samplonius, J. M., Schlicht, E., Valcu, M., y 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.
- Da Silva, A., Valcu, M., y Kempenaers, B. (2016). Behavioural plasticity in the onset of dawn song under intermittent experimental night lighting. *Animal Behaviour*, 117, 155-165.
- de Framond, L., y Brumm, H. (2022). Long-term effects of noise pollution on the avian dawn chorus: A natural experiment facilitated by the closure of an international airport. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289(1971), 20212606.
- Dickerson, A. L., Hall, M. L., y Jones, T. M. (2022). The effect of natural and artificial light at night on nocturnal song in the diurnal willie wagtail. *Science of The Total Environment*, 808, 151986.

- Dominoni, D. M., Carmona-Wagner, E. O., Hofmann, M., Kranstauber, B., y Partecke, J. (2013). 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(3), 681–692.
- Dominoni, D. M., Carmona-Wagner, E. O., Hofmann, M., Kranstauber, B., y Partecke, J. (2016). 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*, 85(6), 1352–1364.
- Dominoni, D., Smit, J. A., Visser, M. E., y Halfwerk, W. (2020). Multisensory pollution: Artificial light at night and anthropogenic noise have interactive effects on activity patterns of great tits (*Parus major*). *Environmental Pollution*, 256, 113314.
- Dorado-Correa, A. M., Rodríguez-Rocha, M., y Brumm, H. (2016). Anthropogenic noise, but not artificial light levels predicts song behaviour in an equatorial bird. *Royal Society Open Science*, 3(7), 160231.
- Endler, J. A. (1992). Signals, signal conditions, and the direction of evolution. *The American Naturalist*, 139(S1), S125–S153. <https://doi.org/10.1086/285308>
- Faeth, S. H., Bang, C., y Saari, S. (2011). Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 69-81.
- Farrell, A. M., Banelyte, G. G., Rogers, H. M. K., Lehtikoinen, P., Kerdraon, D., y Hardwick, B. (2024). Lifeplan Audio Recording Protocol. En *protocols.io*. <https://doi.org/10.17504/protocols.io.kqdg3xbp1q25/v2>
- Foppen, K., Pinxten, R., Meijdam, M., y Eens, M. (2024). Artificial light at night advances the onset of vocal activity in both male and female great tits during the breeding season, while noise pollution has less impact and only in females. *Animals*, 14(22), 3199.
- Fuller, R. A., Warren, P. H., y Gaston, K. J. (2007). Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology letters*, 3(4), 368-370.
- Gaston, K. J., Bennie, J., Davies, T. W., y Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological reviews*, 88(4), 912-927.

- Gil, D., y Brumm, H. (2014). *Avian Urban Ecology: Behavioural and Physiological Adaptations*. Oxford University Press.
- Gil, D., Honarmand, M., Pascual, J., Pérez-Mena, E., y Macías García, C. (2015). Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise. *Behavioral Ecology*, 26(2), 435–443.
- Halfwerk, W., Bot, S., Buikx, J., van der Velde, M., Komdeur, J., ten Cate, C., y Slabbekoorn, H. (2011). Low-frequency songs lose their potency in noisy urban conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(35), 14549-14554.
- Halfwerk, W., y Slabbekoorn, H. (2015). Pollution going multimodal: The complex impact of the human-altered sensory environment on animal perception and performance. *Biology Letters*, 11(4), 20141051.
- Jaccard, P. (1901). Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 37, 547–579.
- Johnson, R. R. y L. T. Haight (2020). Canyon Towhee (*Melospiza fusca*), versión 1.0. In *Birds of the World* (A. F. Poole and F. B. Gill, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.
- Juárez, R., Chacón-Madriz, E., y Sandoval, L. (2020). Urbanization has opposite effects on the territory size of two passerine birds. *Avian Research*, 11(1), 11.
- Juárez, R., Araya-Ajoy, YG, Barrantes, G., y Sandoval, L. (2021). Los chochines comunes (*Troglodytes aedon*) reducen el tamaño de su repertorio y cambian las frecuencias de los elementos de su canto en respuesta al ruido antropogénico. *Ibis*. 163 (1), 52-64.
- Kempnaers, B., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E., y Valcu, M. (2010). Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology*, 20(19), 1735–1739.
- Lee, J. H., Podos, J., y Sung, H. C. (2019). Distinct patterns of geographic variation for different song components in Daurian Redstarts *Phoenicurus aureus*. *Bird Study*, 66(1), 73-82.

- Legendre, P., y Legendre, L. (2012). Numerical Ecology. Elsevier.
- Luther, D., y Baptista, L. (2010). Urban noise and the cultural evolution of bird songs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1680), 469–473.
- Lynch, A. (1996). 10. The Population Memetics of Birdsong. In D. Kroodsma y E. Miller (Ed.), *Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds* (pp. 181-197). Ithaca, NY: Cornell University Press. <https://doi.org/10.7591/9781501736957-017>
- Marín-Gómez, O. H., Y MacGregor-Fors, I. (2019). How early do birds start chirping? Dawn chorus onset and peak times in a Neotropical city. *Ardeola*, 66(2), 327-341.
- Marler, P. (1976). Sensory templates in species-specific behavior. In J. Fentress (Ed.), *Simple networks and behavior* (pp. 314–329). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Marler, P., y Slabbekoorn, H. (Eds.). (2004). *Nature's music: The science of birdsong*. Elsevier Academic Press.
- Marler, P., y Tamura, M. (1962). Song" dialects" in three populations of White-crowned Sparrows. *The Condor*, 64(5), 368-377.
- Marzluff, J. M., 2001. Worldwide urbanization and its effects on birds. – pp. 19–38. In: J. M. Marzluff, R. Bowman and R. Donnelly (eds), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers.
- Méndez, C., G. Barrantes, and L. Sandoval. 2020. The Effect of Noise Variation Over Time and Between Populations on the Fine Spectrotemporal Characteristics of Different Vocalization Types. *Behavioural Processes* 182: 104282.
- Morton, E. S. (1975). Ecological sources of selection on avian sounds. *The American Naturalist*, 109(965), 17-34.
- Muñoz-Santos, I., Sosa-López, J. R., y Ríos-Chelén, A. A. (2025). Non-masking noise suppresses bird song. *Behavioural Processes*, 105239.
- Nemeth, E., y Brumm, H. (2009). Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization?. *Animal behaviour*, 78(3), 637-641.

- Nemeth, E., y Brumm, H. (2010). Birds and anthropogenic noise: Are urban songs adaptive? *The American Naturalist*, 176(4), 465–475.
- Nemeth, E., Pieretti, N., Zollinger, S. A., Geberzahn, N., Partecke, J., Miranda, A. C., y Brumm, H. (2013). Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1754).
- Pacheco-Vargas G, Losada-Prado S (2015). Efecto del ruido del tráfico vehicular en cantos de *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*. *Revista Ciencia en Desarrollo* 6:117–183.
- Patricelli, Gail L., and Jessica L. Blickley. "Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment." *The Auk* 123.3 (2006): 639-649.
- Perkin, E. K., Hölker, F., Richardson, J. S., Sadler, J. P., Wolter, C., y Tockner, K. (2011). The influence of artificial light on stream and riparian ecosystems: questions, challenges, and perspectives. *Ecosphere*, 2(11), 1-16.
- Phillips, Jennifer N., et al. "Territory quality predicts avian vocal performance across an urban-rural gradient." *Frontiers in Ecology and Evolution* 8 (2020): 587120.
- Podos, J., Huber, S. K., y Taft, B. (2004). Bird song: the interface of evolution and mechanism. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35(1), 55-87.
- Potvin, D. A., y MacDougall-Shackleton, S. A. (2015). Traffic noise affects embryo mortality and nestling growth rates in captive zebra finches. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 323(10), 722-730.
- Raap, T., Pinxten, R., y Eens, M. (2015). Light pollution disrupts sleep in free-living animals. *Scientific reports*, 5(1), 13557.
- 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., McDonald, A. N., Berger, A., Perry, A. C., Krakauer, A. H., y Patricelli, G. L. (2017). Do birds vocalize at higher pitch in noise, or is it a matter of measurement?. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 71(1), 29.
- Sagar, H. S. C., Anand, A., Persche, M. E., Pidgeon, A. M., Zuckerberg, B., Şekercioğlu, Ç. H., y Buřivalová, Z. (2021). Global analysis of acoustic frequency characteristics in birds. *Ecology Letters*, 24(7), 1452–1463. <https://doi.org/10.1111/ele.13749>
- Sánchez-González, K., Aguirre-Obando, O. A., y Rios-Chelen, A. A. (2021). Urbanization levels are associated with the start of the dawn chorus in vermilion flycatchers in Colombia. *Ethology Ecology & Evolution*, 33(4), 377-393.
- Sanders, D., Frago, E., Kehoe, R., Patterson, C., y Gaston, K. J. (2021). A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology & Evolution*, 5(1), 74-81.
- Sandoval, L., Méndez, C., y Mennill, D. J. (2016). Vocal behaviour of White-eared Ground-sparrows (*Melospiza leucotis*) during the breeding season: repertoires, diel variation, behavioural contexts, and individual distinctiveness. *Journal of Ornithology*, 157(1), 1-12.
- Sandoval L y Mennill DJ (2014) A quantitative description of vocalizations and vocal behaviour of Rusty-crowned Ground-sparrow (*Melospiza kieneri*). *Ornitol Neotrop* 25:219–230
- Searcy, W. A., y Andersson, M. (1986). Sexual selection and the evolution of song. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 507-533.
- Searcy, W. A., y Nowicki, S. (2008). Bird Song and the Problem of Honest Communication: How is the honesty of animal signals maintained when exaggeration and bluff are so tempting?. *American Scientist*, 96(2), 114-121.
- Slabbekoorn, H. (2013). Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. *Animal Behaviour*, 85(5), 1089-1099.
- Slabbekoorn, H., y Peet, M. (2003). Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, 424(6946), 267.

- Slabbekoorn, H., y den Boer-Visser, A. (2006). Cities change the songs of birds. *Current biology*, 16(23), 2326-2331.
- Swaddle, John P., and Laura C. Page. "High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution." *Animal behaviour* 74.3 (2007): 363-368.
- Swaddle, J. P., Francis, C. D., Barber, J. R., Cooper, C. B., Kyba, C. C., Dominoni, D. M., y Longcore, T. (2015). A framework to assess evolutionary responses to anthropogenic light and sound. *Trends in ecology & evolution*, 30(9), 550-560.
- Tobias, J. A., Aben, J., Brumfield, R. T., Derryberry, E. P., Halfwerk, W., Slabbekoorn, H., y Seddon, N. (2010). Song divergence by sensory drive in Amazonian birds. *Evolution*, 64(10), 2820–2839.
- Villalobos-Ponce 2023. Sistema territorial de una población urbana de Rascador viejita (*Melospiza fusca*, Passerellidae; Aves) en Morelia, Michoacán. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana De San Nicolas De Hidalgo. Repositorio institucional de la UMSNH.
- Villarreal, M., Barrantes, G., y Sandoval, L. (2024). Song frequency shifts in an urban bird species optimize acoustic transmission inside noisy urban areas. *Ornitología Neotropical*, 35(2), 80-86.
- Winandy, G. S. M., Félix, R. P., Sacramento, R. A., Mascarenhas, R., Batalha-Filho, H., Japyassú, H. F., Izar, P., y Slabbekoorn, H. (2018). Urban noise restricts song frequency bandwidth and syllable diversity in bananaquits: Increasing audibility at the expense of signal quality. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 225. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00225>
- Winandy, G. S. M., Félix, R. P., Sacramento, R. A., Mascarenhas, R., Batalha-Filho, H., Japyassú, H. F., Izar, P., y Slabbekoorn, H. (2021). Urban noise restricts song frequency bandwidth and syllable diversity in bananaquits: Increasing audibility at the expense of signal quality. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 570420.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas	
Título del trabajo	Variación en la morfología y conducta vocal entre poblaciones del Rascador viejita, <i>Melozona fusca</i> (aves) frente a la urbanización	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Biol. Bianca América Villalobos Ponce	1541918f@umich.mx
Director	Dr. Javier Salgado Ortiz	javier.salgado@umich.mx
Codirector	Sin Codirector	
Coordinador del programa	Dra. Rosa Elvira Nuñez Anita	Mae.ciencias.biologicas@umich.mx

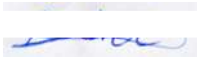
Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	Si	Si utilice la herramienta para traducir varios artículos científicos al español
Traducción a otra lengua	Si	Algunos artículos, aunque no necesariamente citados formaron parte de mi proceso de búsqueda de información y algunos tenían un idioma distinto al inglés y al español.
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	Utilice para buscar información de manuales y procedimientos para usar el software pero la IA no me realizó ningún análisis
Búsqueda y organización de información	Si	Para buscar más artículos de años y autores específicos
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	Si	Preguntas específicas como cuál es el formato actual APA, que artículos recientes y reconocidos hay sobre un tema particular.

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Bianca América Villalobos Ponce 
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 15 de junio del año 2026

Bianca América Villalobos Ponce

Variación en la morfología y conducta vocal entre poblaciones del Rascador viejita, Melozone fusca (aves) frente a la urbaniz...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:600502870

Fecha de entrega

16 jun 2026, 9:21 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

16 jun 2026, 9:29 a.m. GMT-6

Nombre del archivo

Variación en la morfología y conducta vocal entre poblaciones del Rascador viejita, Melozone fus....pdf

Tamaño del archivo

2.3 MB

100 páginas

26.974 palabras

151.858 caracteres

34% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 33%  Fuentes de Internet
- 28%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.