



---

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

AVÍFAUNA EN UN GRADIENTE URBANO-FORESTAL EN EL  
ESTADO DE MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

LOURDES WENDOLYNE LEAL JUÁREZ

PATRICIA RAMÍREZ BASTIDA  
DIRECTORA DE TESIS

Los Reyes Ixtacala  
Abril 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Contenido

<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>Introducción</b> .....	4
<b>Hipótesis</b> .....	5
<b>Objetivos</b> .....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos particulares .....	5
<b>Zona de Estudio</b> .....	6
Caracterización del nivel de perturbación en las zonas de estudio. Índice de Squeo. ....	7
Estructura de la vegetación.....	8
<b>Métodos</b> .....	13
Muestreo de aves .....	14
Riqueza específica.....	14
Complejidad del inventario obtenido .....	14
Categorías de Estacionalidad .....	15
Categorías de riesgo.....	15
Curva de acumulación de especies .....	15
Diagramas Olmstead-Tukey .....	15
Rango abundancia.....	16
Similitud .....	16
Análisis de rarefacción .....	16
<b>Resultados</b> .....	17
Riqueza específica.....	17
Complejidad del inventario obtenido .....	17
Categorías de endemismo y estacionalidad.....	18
Categorías de riesgo.....	19
Curva de acumulación de especies .....	19
Diagramas Olmstead-Tukey .....	19
Rango abundancia.....	21
Similitud .....	22
Análisis de rarefacción.....	22
<b>Discusión</b> .....	23
<b>Conclusiones</b> .....	26
<b>Literatura citada</b> .....	27
<b>Anexo</b> .....	32

## RESUMEN

Las actividades antropogénicas como la deforestación derivada del cambio de uso de suelo con fines agropecuarios o expansión de las zonas urbanas, la construcción de carreteras, la instalación de nuevas áreas industriales y aprovechamientos forestales no sustentables, afectan la diversidad de la avifauna. De este modo, se esperaría que en zonas urbanas donde estas actividades son frecuentes, los ensambles de aves presentarían una menor riqueza taxonómica que en los sitios forestales, como los bosques templados. El objetivo de esta investigación fue evaluar el recambio taxonómico de las comunidades de aves entre zonas conservadas y alteradas y se consideraron tres sitios: bosque templado (zona conservada), el "río" (zona intermedia) y la ciudad (zona alterada). Para caracterizar el ensamble de aves se visitó una vez a la semana cada sitio del gradiente desde septiembre del 2018 hasta octubre del 2019. El muestreo de aves fue realizado por una observadora y se registró la presencia y abundancia de todas las especies de aves observadas y escuchadas mientras se caminaba en línea recta del transecto, el cual media 1000 m de largo por 50 m de ancho. Las observaciones se realizaron mediante conteo directo. En total se realizaron 54 muestreos, en cada uno de los sitios del gradiente urbano forestal registrando un total de 105 especies. Del total de especies 80 se encontraron en el bosque de las cuales 74 son exclusivas, 30 en el río con 10 exclusivas y 16 en la ciudad. El análisis de rarefacción indicó una completitud de 0.966, 0.971 y 0.859 para la Ciudad, el Río y Bosque, respectivamente. También se encontró que donde predominan las actividades antropogénicas, la riqueza de aves disminuyó, pero aumentó la abundancia de especies generalistas. Así mismo, estas características permitieron el establecimiento de especies invasoras. En el bosque templado se registró una mayor riqueza de avifauna, estas especies presentan requerimientos particulares en su alimentación y anidación por lo que sus poblaciones son vulnerables, especialmente por la deforestación y las actividades mencionadas anteriormente. Estos procesos de pérdida de hábitat y biodiversidad pueden estar ocurriendo en sitios similares de nuestro país en donde se distribuye el bosque templado.

## Introducción

Los bosques templados de México presentan una gran diversidad al estar formados por comunidades mixtas de árboles que pueden ser perennifolios o totalmente caducifolios con alturas que varían entre los 2 a 30 m (Rzedowski 1992). Se desarrollan en regiones templadas, subhúmedas y frías desde el nivel del mar hasta los 3, 500 m. Es el segundo bioma más extenso del país y su distribución coincide fisiográficamente con las principales cordilleras: a lo largo de la Sierra Madre Occidental y Oriental, en la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico Transversal (Ugalde-Lezama et al. 2012) que se localiza desde el Oeste de Nayarit hasta el Este de Veracruz e incluye el Estado de México (Arriola-Padilla et al. 2014).

El 48% de la extensión territorial del Estado de México corresponde a bosques templados (Moreno-Barajas et al. 2021, Vega-Chávez 2021). Este tipo de vegetación posee una de las mayores riquezas de especies endémicas debido a la interacción de muchos factores históricos, ecológicos y evolutivos (Villaseñor y Ortiz 2014). Respecto a las aves el mayor porcentaje de endemismo (17 %) se encuentra en estos ambientes caracterizados por la dominancia de pino-encino, especies características de zonas montañosas (Navarro-Sigüenza et al. 2014). Para mantener la regeneración natural y la diversidad de la vegetación los bosques templados dependen de diversas interacciones con las aves como la dispersión de semillas, la polinización, el control de plagas y el reciclaje de nutrientes (Sánchez-González et al. 2021).

Sin embargo, los bosques templados están amenazados por actividades antropogénicas como la deforestación derivada del cambio de uso de suelo con fines agropecuarios o expansión de las zonas urbanas, la construcción de carreteras, la instalación de nuevas áreas industriales, aprovechamientos forestales no sustentables como la explotación de madera ilegal, incendios forestales inducidos, la minera y desviación de los cauces (Nieto de Pascua 2009). Los bosques templados también se encuentran amenazados por causas de tipo ambiental como el cambio climático y las plagas/enfermedades por microorganismos.

En un periodo de nueve años el Estado de México perdió 13, 690 ha de diversos tipos de bosque (Pineda et al. 2009) por lo que su cobertura original se ha reducido a relictos cada vez más pequeños. En estas áreas perturbadas, comienzan los procesos de pérdida de biodiversidad por qué algunas especies dependen de requerimientos particulares y hábitats óptimos (Moilanen & Hanski 1998), por lo que las modificaciones en la estructura de la vegetación ocasionan cambios en las poblaciones de algunas especies animales, particularmente de aves provocando cambios en la riqueza, diversidad, abundancia y distribución (Ugalde-Lezama 2009).

Al generarse fragmentos de bosque, la disponibilidad de alimentos y cavidades para refugiarse, reproducirse, anidar, descansar o hibernar comienza a disminuir lo que provoca

una reducción en el rendimiento reproductivo y afecta la ocurrencia y abundancia de las comunidades de aves (Vergara et al. 2020, Schaaf et al. 2021).

Así mismo estos cambios generan nuevas condiciones ambientales que son aprovechadas por organismos con baja especificidad en el uso de recursos, como las especies sinantrópicas y exóticas que pueden superar los múltiples desafíos de la urbanización como la contaminación (química, acústica y lumínica), depredadores e infraestructuras y prosperar hasta llegar a ejercer una dominancia (De Sucre Medrano et al. 2009, Gordo et al. 2021).

Para conocer el comportamiento de la avifauna ante los cambios antropogénicos se debe conocer y caracterizar la estructura de las comunidades y comparar con diversos sitios que presenten distintos grados de urbanización. Por lo tanto, los análisis en gradientes permiten comprender cómo afectan las actividades humanas la riqueza y abundancia de los ensambles de aves desde una zona urbana hasta la zona forestal (Almazán-Nuñez 2009, Lazarina et al. 2020).

## **Hipótesis**

Las actividades antropogénicas determinarán la estructura de las comunidades de aves en un gradiente urbano-forestal, afectando negativamente a las aves especialistas forestales y favoreciendo a las especies tolerantes o explotadoras de áreas urbanas.

## **Objetivos**

### Objetivo general

Evaluar el recambio taxonómico de las comunidades de aves en tres sitios con diferentes grados de antropización.

### Objetivos particulares

- Caracterizar la composición y abundancia de las comunidades de aves en un gradiente urbano-forestal.
- Realizar un inventario de avifauna para los tres sitios del gradiente urbano-forestal.
- Comparar la riqueza y abundancia y evaluar el recambio taxonómico en los tres sitios de gradiente urbano-forestal para identificar las zonas con mayor riqueza.
- Detectar las problemáticas derivadas de las actividades humanas que perturban el bosque.

## Zona de Estudio

Nicolás Romero se ubica entre las coordenadas Latitud norte 19° 33' y 19° 43', Longitud oeste 99° 15' y 99° 33' e Isidro Fabela entre las coordenadas Latitud norte 19° 30' y 19° 36' Longitud oeste 99° 19' y 99° 32'. Son municipios colindantes que presentan un clima templado subhúmedo y Semifrío subhúmedo con lluvias en verano, respectivamente. Presentan un intervalo de precipitación de 700 a 1,300 mm con temperaturas de 0 a 38°C. con una altitud desde los 2, 200 hasta los 3, 800 msnm (INEGI 2009).

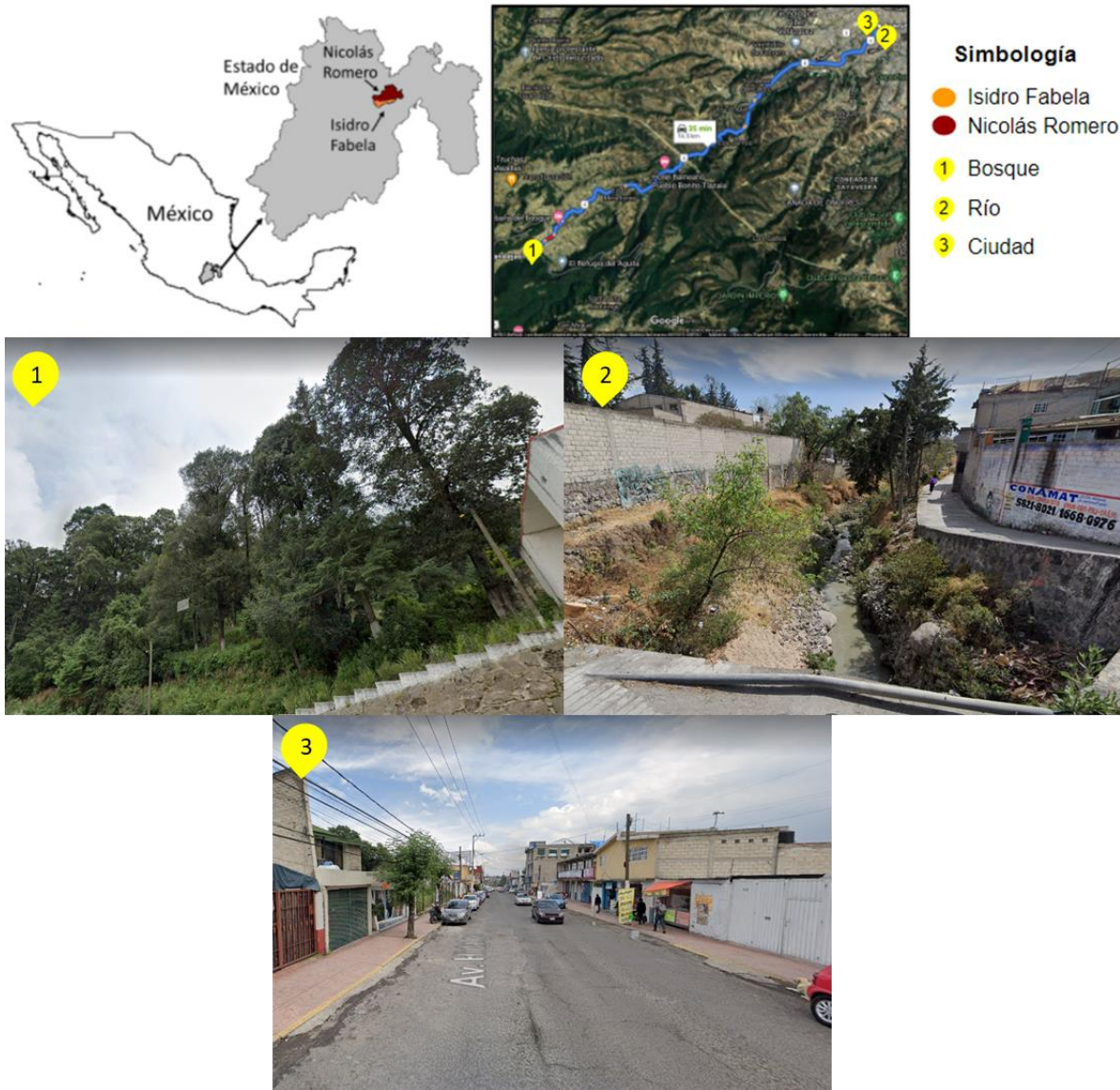


Figura 1. Zona de estudio. Gradiente de perturbación urbano-forestal en el Estado de México. Los puntos de color indican la ubicación aproximada de las parcelas muestreadas en los tres niveles de perturbación (INEGI 2021 y Google maps 2021).



Caracterización del nivel de perturbación en las zonas de estudio. Índice de Squeo.

Se obtuvo el índice de Squeo (2003) para comparar el nivel de perturbación determinado por la relación entre áreas cubiertas con vegetación y superficies urbanas. De acuerdo con los datos obtenidos (figura 2) la Ciudad es un sitio urbano que carece de vegetación y por lo tanto tiene un alto grado de urbanización, resultado similar al Río, donde predomina la cobertura urbana, sin embargo, presenta vegetación al margen del río y por ello se tomó como la localidad con perturbación intermedia. En el Bosque hay mayor cobertura vegetal, el resultado del índice clasifica a esta zona con un alto grado de perturbación.

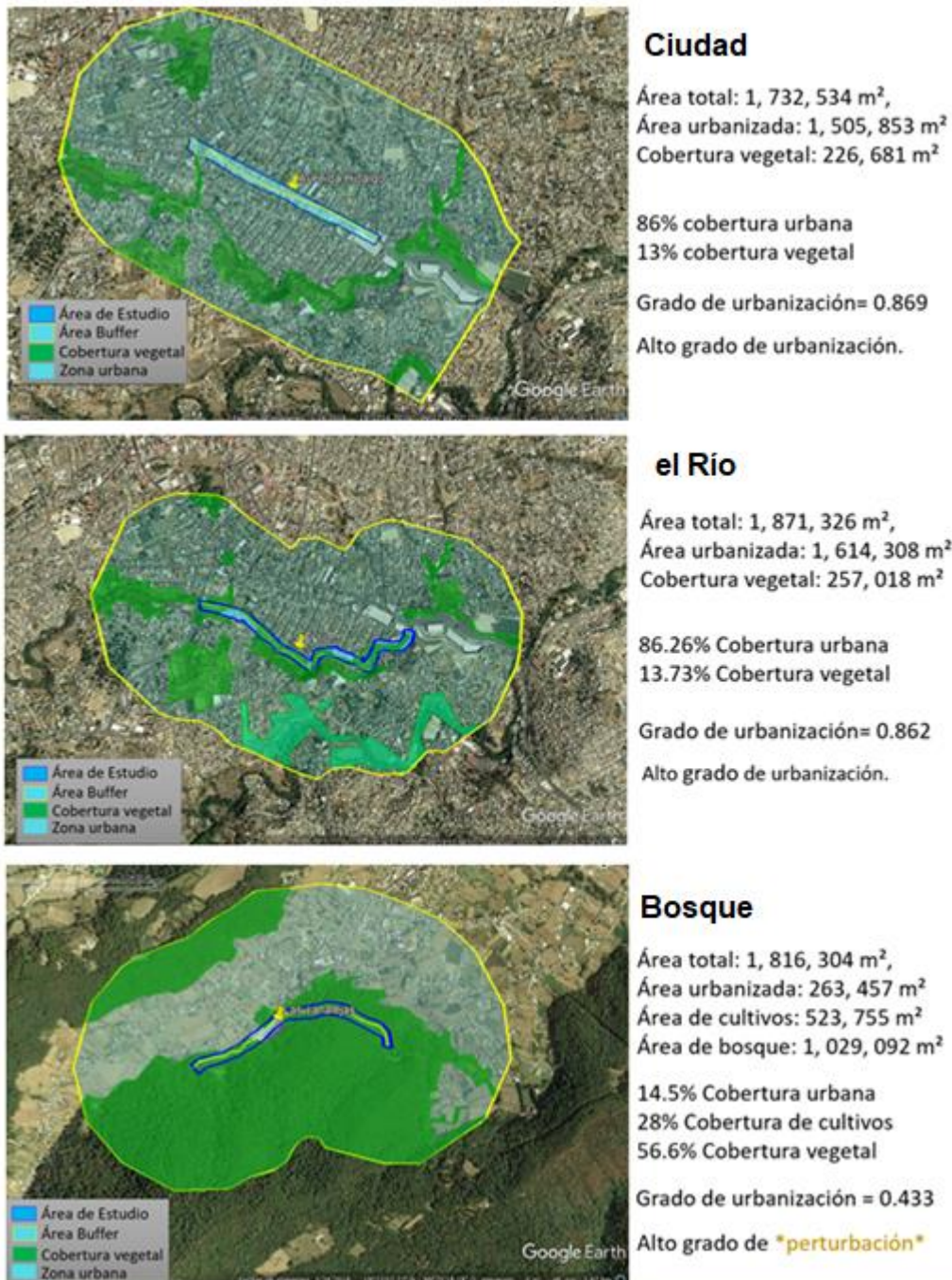


Figura 2. Índice de Squeo para los tres sitios del gradiente.








## Estructura de la vegetación

Se caracterizó de forma cualitativa cada una de las localidades mediante el cálculo de cobertura vegetal y de infraestructura urbana en 5 cuadrantes dentro del transecto.

### Ciudad

La avenida Hidalgo no tiene cobertura vegetal, y en los cinco cuadrantes predomina la cobertura urbana, sobresaliendo la carretera (vialidad principal para el municipio) que está rodeada de casas y algunos comercios (Tabla 2).

Tabla 1. Ciudad. Las áreas y porcentajes de las coberturas de las zonas urbanas (calle y casas) y vegetación. Imágenes obtenidas de Google Earth Pro-2018

Lugar	Cuadrante	Carretera		Casas		Vegetación	Fotografía
Av. Hidalgo	1	369m <sup>2</sup>	59%	256 m <sup>2</sup>	41%	No aplica	
	2	355m <sup>2</sup>	56%	270 m <sup>2</sup>	44%		
	3	387m <sup>2</sup>	62%	238 m <sup>2</sup>	38%		
	4	329m <sup>2</sup>	52%	296 m <sup>2</sup>	48%		
	5	371m <sup>2</sup>	60%	254 m <sup>2</sup>	40%		

### El Río

La cobertura vegetal es más abundante en esta zona debido a que al margen del río acompañan algunos árboles como El pirul (*Schinus terebinthifolius*), Colorín (*Erythrina coralloides*), algunos organismos del género *Pinus* y plantas como lantana (*Lantana camara*), la trompeta (*Nicotiana glauca*), la higuera (*Ricinus communis*), sábila (*Aloe arborescens*, *Aloe viridiflora* y *Aloe striatula*). La gran mayoría de estos árboles y plantas no son nativos, han sido introducidos por vecinos que han intentado recuperar los espacios verdes.


Tabla 2. Cobertura y estructura en la zona de estudio de El Río. las áreas y porcentajes de las coberturas de las zonas urbanas (calle y casas) y vegetación. Imágenes obtenidas de Google Earth Pro-2018

Lugar	Cuadrante	Carretera		Casas		Vegetación		Fotografía
El Río	1	273m <sup>2</sup>	44%	26.5m <sup>2</sup>	4%	325.4 m <sup>2</sup>	52%	
	2	224m <sup>2</sup>	37%	41.6m <sup>2</sup>	6%	359.4 m <sup>2</sup>	57%	
	3	317m <sup>2</sup>	50%	293 m <sup>2</sup>	47%	15 m <sup>2</sup>	3%	
	4	402m <sup>2</sup>	64%	178 m <sup>2</sup>	28%	45 m <sup>2</sup>	8%	
	5	No aplica		97 m <sup>2</sup>	16%	528 m <sup>2</sup>	84%	

### Bosque

En esta parte localidad el ambiente es heterogéneo y se buscó que los cuadrantes mostraran estas variaciones, se encuentran superficies de cultivos, áreas de pastoreo, carreteras, casas y parte del bosque. Sin embargo, aunque en los cuadrantes 3, y 5 el 100% corresponde a la vegetación, existen diversos estratos de vegetación como musgos, arbustos y árboles. Esta superficie en particular es ocupada para el pastoreo de borregos.

Tabla 3. Bosque. las áreas y porcentajes de las coberturas de las zonas urbanas (calle y casas) y vegetación. Imágenes obtenidas de Google Earth Pro-2018.

Lugar	Cuadrante	Carretera		Casas		Vegetación		Fotografía
Bosque	1	50 m <sup>2</sup>	8%	30.6m <sup>2</sup>	5%	545 m <sup>2</sup>	87%	
	2	116m <sup>2</sup>	19%	No aplica		509 m <sup>2</sup>	81%	
	3	No aplica		No aplica		625 m <sup>2</sup>	100%	
	4	287m <sup>2</sup>	46%	No aplica		338 m <sup>2</sup>	54%	
	5	No aplica		No aplica		625 m <sup>2</sup>	100%	

Problemática del sitio.

Durante la caracterización de los lugares y muestreos se detectaron algunas problemáticas asociadas a las actividades, no se hizo un seguimiento de las mismas para un análisis, se explican brevemente a continuación.

Durante la elaboración de esta investigación se observaron actividades humanas que impactan la conservación del bosque de manera directa e indirecta y el aprovechamiento de algunas especies no maderables.

La tala de árboles (figura 3) y el cambio de uso de suelo es una actividad frecuente realizada por los locatarios para limpiar terrenos y ponerlos en venta, hacer construcciones de casas, siembra de diversos vegetales predominando la papa, el haba y el maíz, pastoreo de animales de campo y aperturas de caminos (figura 4).



Figura 3. Tala de árboles en el Bosque



Figura 4. Cambio de uso de suelo de forestal, limpia de terrenos para cultivos

Las Canalejas es una colonia que tiene pocos servicios, algunos locatarios cuentan con luz eléctrica, drenaje o fosas sépticas para el desagüe de aguas negras y grises. Un bajo porcentaje de la población no cuenta con estos servicios, por esta razón se venden terrenos a bajo costo, desde veinticinco o treinta pesos por  $m^2$  lo que facilita la compra y venta de terrenos.



En la zona existen artesanos que elaboran productos con el follaje seco de los pinos conocido como ocochal. Con la madera de los árboles realizan diversos objetos como muebles, juguetes y esculturas (figura 5).



Figura 5. Artesanías de ocochal y madera.

Durante la observación en el bosque se encontraron algunos árboles dañados de la corteza indicadores de la práctica llamada “ocoteo”, en la cual se hacen heridas en la corteza del árbol para favorecer la secreción de resina y luego se cortan fragmentos de madera impregnados con la resina para facilitar encender fogatas o anafres. Esto a la larga y si se hace de forma intensiva lleva a la muerte del árbol (figura 6).



Figura 6. Árboles dañados por la práctica del ocoteo.

En las celebraciones decembrinas y de semana santa, algunos locatarios utilizan follaje de árboles, musgo, heno y estróbilos, llamados comúnmente como piñas de las distintas especies de árboles para decorar sus casas (figura 7). Algunas personas cuentan con el permiso de la Comisión Nacional Forestal para el aprovechamiento de los recursos no

maderables en los bienes comunales de Santiago Tlazala, aunque esta actividad también se realiza de manera ilegal.



Figura 7. Aprovechamiento del musgo, comercializado principalmente para nacimientos.

Durante los meses de lluvias se aprovechan especies de hongos para el consumo o venta (figura 8) y durante todo el año predomina la venta de tierra negra y tierra de hoja.



Figura 8. Aprovechamiento de hongos. De izquierda a derecha *Amanita vaginata*, *Rusula vinosa* *Coprinus comatus*.

En grupos de redes sociales, veterinarias y forrajerías de los municipios de Nicolás Romero y Tlazala se venden aves silvestres de manera constante y las especies más vendidas son *Colaptes auratus*, carpintero de pechera común; *Melanerpes formicivorus*, Carpintero bellotero; *Sturnus vulgaris*, estornino pinto; *Amazona autumnalis*, Loro cachetes amarillos; *Turdus assimilis*, Mirlo garganta blanca; *Xanthocephalus xanthocephalus*, Tordo cabeza amarilla; *Cardinalis cardinalis*, Cardenal rojo y *Myadestes occidentalis*, Clarín jilguero (figura 9). En el caso de esta última especie la venta se puede realizar desde un individuo, la pareja reproductiva o ambos padres con polluelos.





Figura 9. Especies en venta. De izquierda a derecha *Colaptes auratus*, (carpintero de pechera común), *Sturnus vulgaris*, (estornino pinto), *Amazona autumnalis*, Loro cachetes amarillos, *Turdus assimilis*, (Mirlo garganta blanca) y *Myadestes occidentalis*, (Clarín jilguero).

En Las Canalejas existe una pequeña represa (figura 10) la cual se limpia cada determinado tiempo. Se abren las compuertas y se queda vacía por algunas semanas. Esta acción impacta directamente en la presencia y abundancia de algunas especies de aves que necesitan este cuerpo de agua para obtener alimento como las golondrinas (*Stelgidopteryx serripennis*, *Tachycineta thalassina* y *Petrochelidon pyrrhonota*) y el papamoscas negro (*Sayornis nigricans*).

Algunos locatarios mencionan que han visto en la zona del bosque personas con armas de fuego y perros para cazar animales como águilas y zopilotes además de conejos y liebres.



Figura 10. Represa en la colonia Las Canalejas y *Sayornis nigricans* registrado cuando la represa tenía agua.

## Métodos

El trabajo de campo se realizó considerando un gradiente derivado de las actividades humanas (Remolina-Figueroa 2019) el cual incluye:

1) Bosque templado con un mosaico heterogéneo en el cual la estructura original de la vegetación está poco alterada combinado con áreas establecidas para actividades agropecuarias.



- 2) El río, cuerpo de agua contaminado debido a que es empleado en el sistema de drenaje. Cuenta con asentamientos humanos y escasa vegetación.
- 3) La ciudad donde la vegetación original ha sido reemplazada por completo por casas, calles y carreteras.

#### Muestreo de aves

Para caracterizar el ensamble de aves se visitó una vez a la semana cada sitio del gradiente del mes de septiembre del 2018 a octubre de 2019. El muestreo de aves fue realizado por una observadora y se registró la presencia y abundancia de todas las especies de aves observadas y escuchadas mientras se caminaba en línea recta del transecto, el cual media 1000 m de largo por 50 m de ancho (Ralph et al. 1996). Los recorridos iniciaron a las 8:00 h hasta las 11:00 h aproximadamente. De cada registro se anotó localidad, fecha, hora, especie, número de individuos, la actividad que realizaban las aves y el sustrato: Caminando (C), Volando (V), Cantando (D), Alimentándose (A), Percha (P) Sustrato: Suelo (S), Árbol (T), Arbusto (A), Hierba (H), Aéreo o volando (G). En el caso de los sitios urbanos: Edificio (Ed), Poste (Po), Casa (Ca). Las observaciones se realizaron mediante conteo directo, utilizando binoculares de 10x35 mm y la identificación de las aves se realizó utilizando la guía de campo aves de Norteamérica (Dunn y Alderfer 2017). Los datos obtenidos en campo se integraron en hojas de cálculo del programa Excel Microsoft para su procesamiento.

#### Riqueza específica

Se obtuvo el listado de especies en total y para cada localidad, conforme al arreglo sistemático del Consejo Internacional Ornitológico (IOC 2021).

#### Completitud del inventario obtenido

Se evaluó si se obtuvo un inventario completo tomando en cuenta los 10 criterios de Gómez de Silva y Medellín (2001), relacionados con el número mínimo de especies (35) y familias (21), así como la combinación de presencia de familias y géneros particulares, como Accipitridae, Trochilidae, Tyrannidae, Troglodytidae, Parulidae, *Buteo*, *Empidonax*, *Accipiter*, *Falco* e *Icterus*, entre otros.

#### Categorías de endemismo

Para las especies endémicas se utilizó la clasificación de CONABIO (Berlanga et al. 2015).

**Endémicas (EN)** Especies cuya distribución geográfica se encuentra restringida a los límites políticos del territorio de México.

**Semiendémicas (SE)** Especies cuya población completa se distribuye únicamente en México durante cierta época del año

**Cuasiendémicas (CE)** Especies con áreas de distribución que se extienden ligeramente fuera de México hacia algún país vecino debido a la continuidad de sus hábitats.

#### Categorías de Estacionalidad

La estacionalidad se determinó con base en los criterios establecidos por CONABIO (Berlanga et al. 2015).

**Residente (R)** Especies que viven a lo largo de todo el año en una misma región.

**Migratorias de Invierno (MI)** Especies que se reproducen al norte del continente y pasan el invierno en México por lo general en los meses de septiembre y abril.

**Migratorio de Verano (MV)** Especies que están en México únicamente durante la temporada de reproducción en verano, por lo general entre marzo y septiembre.

**Transitoria o Transeúnte (T)** Especies que durante la migración van de paso por nuestro país para dirigirse a sus áreas de hibernación al sur en otoño, o hacia sus áreas de reproducción en el norte durante la primavera.

**Accidental (A)** Especies cuya presencia en México es rara o irregular, por ejemplo, individuos en dispersión que están fuera de sus áreas de distribución habitual, o individuos que han sido arrastrados por fenómenos meteorológicos extremos como huracanes y tormentas.

#### Categorías de riesgo

Se cotejó el listado con el de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT 2010 (SEMARNAT 2010). Esta norma indica las especies de vida silvestre que se encuentran en alguna de las siguientes categorías de riesgo: **Sujetas a protección especial (Pr)**, **Amenazadas (A)** y **En peligro de extinción (P)**.

#### Curva de acumulación de especies

Para conocer el número de especies acumuladas durante el muestreo se obtuvo la curva de acumulación de especies de Jack knife-1 con el programa Biodiversity Pro (McAleece et al. 1997).

#### Diagramas Olmstead-Tukey

Para cada sitio obtuvo el Diagrama Olmstead -Tukey que relaciona la frecuencia relativa con la abundancia relativa de las especies registradas para determinar las especies raras, comunes, frecuentes y dominantes (Steel y Torrie 1985), considerando como valor de abundancia base el número máximo de individuos registrados para cada especie en un muestreo.

### Rango abundancia

Se elaboraron curvas Rango-Abundancia de Whittaker (Magurran 2004) para comparar los cambios de composición de especies entre sitios y con el fin de determinar diferencias significativas se realizó una prueba de homogeneidad de pendientes utilizando el programa estadístico PAST (Hammer et al. 2001).

### Similitud

Para comparar la similitud entre zonas se obtuvo un dendrograma, a partir de la presencia de especies entre los tres sitios del gradiente, empleando el índice de Jaccard utilizando el programa BioDiversity Pro (McAleece et al. 1997).

### Análisis de rarefacción

Se utilizó un análisis de rarefacción basado en individuos para evaluar si hubo diferencias en la riqueza específica y compararla entre las comunidades utilizando el programa Run (Chao et al. 2014).

## Resultados

### Riqueza específica

Se realizaron 54 muestreos en cada uno de los sitios del gradiente urbano forestal registrando un total de 105 especies. Del total de especies 80 se encontraron en el bosque de las cuales 74 son exclusivas, 30 en el río con 10 exclusivas y 16 en la ciudad. El Orden más representativo fue Passeriformes con 24 familias, seguido de Accipitriformes con 2 familias (figura 11).

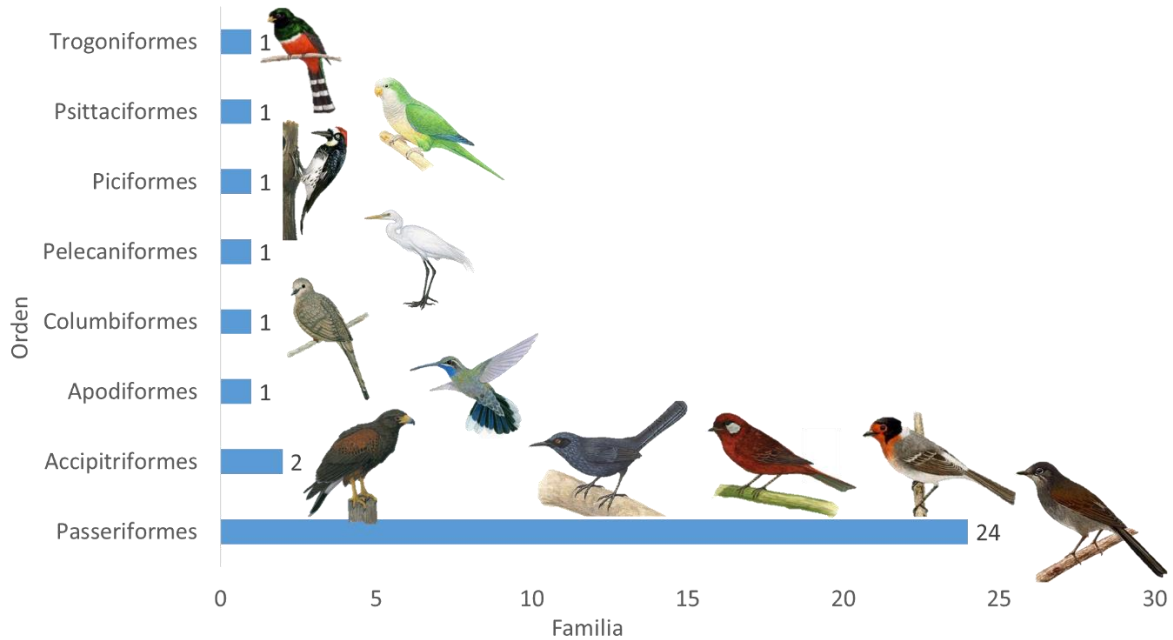


Figura 11. Órdenes de aves presentes en los tres sitios del gradiente.

### Completitud del inventario obtenido

Al evaluar los criterios de Gómez de Silva y Medellín (2001) se concluyó que el listado de avifauna de esta investigación está completo y es representativo ya que cumple con 8 de los 10 criterios al tener representantes de las familias Picidae, Hirundinidae, Turdidae, Vireonidae, Thraupidae, Cardinalidae, Icteridae (Criterios 2, 6 y 7), Cathartidae (Criterio 5) y Emberizidae (Criterio 8). Por último, contiene insectívoros diurnos de alto vuelo (Criterio 4), más de 35 especies (Criterio 9) y más de 21 familias (Criterio 10). Al no tener representantes de las familias Strigidae, Corvidae, Caprimulgidae, Apodidae y *Falco* no se cumple con los criterios 1 y 3.

De las especies registradas, sólo el carpintero bellotero (*Melanerpes formicivorus*) y el chipe corona negra (*Cardellina pusilla*) estuvieron presentes en los tres lugares del gradiente (figura 3).

Tabla 4. Especies compartidas entre dos o tres sitios.

Especie	Bosque	Río	Ciudad
<i>Ardea alba</i>		x	x
<i>Cardellina pusilla</i>	x	x	x
<i>Columba livia</i>		x	x
<i>Columbina inca</i>		x	x
<i>Contopus pertinax</i>		x	x
<i>Cyananthus latirostris</i>		x	x
<i>Haemorhous mexicanus</i>		x	x
<i>Melanerpes aurifrons</i>		x	x
<i>Melanerpes formicivorus</i>	x	x	x
<i>Melospiza fusca</i>		x	x
<i>Myiopsitta monachus</i>		x	x
<i>Parabuteo unicinctus</i>		x	x
<i>Passer domesticus</i>		x	x
<i>Piranga rubra</i>	x	x	
<i>Polioptila caerulea</i>		x	x
<i>Quiscalus mexicanus</i>		x	x
<i>Sayornis nigricans</i>	x	x	
<i>Spinus psaltria</i>		x	x
<i>Sturnus vulgaris</i>		x	x
<i>Thryomanes bewickii</i>		x	x
Total	4	20	18

### Categorías de endemismo y estacionalidad

Se registraron 20 especies en alguna categoría de endemismo. De la avifauna registrada el 71% son residentes, seguidas de las migratorias de invierno (19%) y las categorías menos representadas son las Migratorias de Verano y Transitorias (5% cada categoría, Figura 12, Anexo 1).

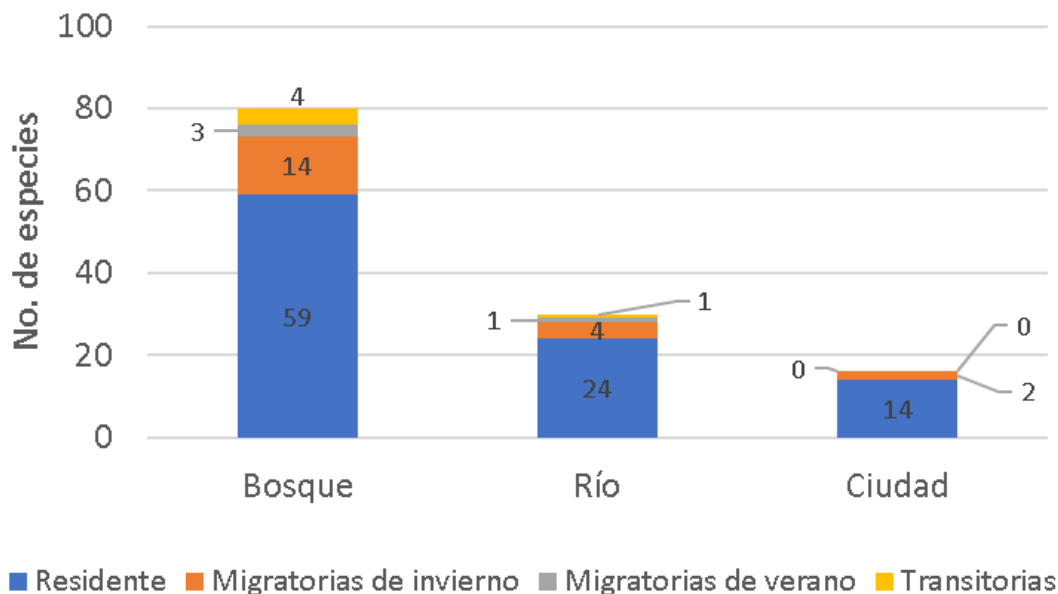


Figura 12. Categorías de Estacionalidad entre las tres localidades

## Categorías de riesgo

Para las categorías de riesgo solo seis especies de nuestro listado se encuentran dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT -2010). La lista de especies registradas junto con las categorías de endemismo, residencia y riesgo por especie se presenta en el Anexo 1.

## Curva de acumulación de especies

La curva de acumulación de especies mostró un incremento creciente y al finalizar los muestreos se estabilizó lo que indica que el esfuerzo de muestreo fue el adecuado lo que permitió observar la avifauna esperada en el área de estudio (Figura 13).

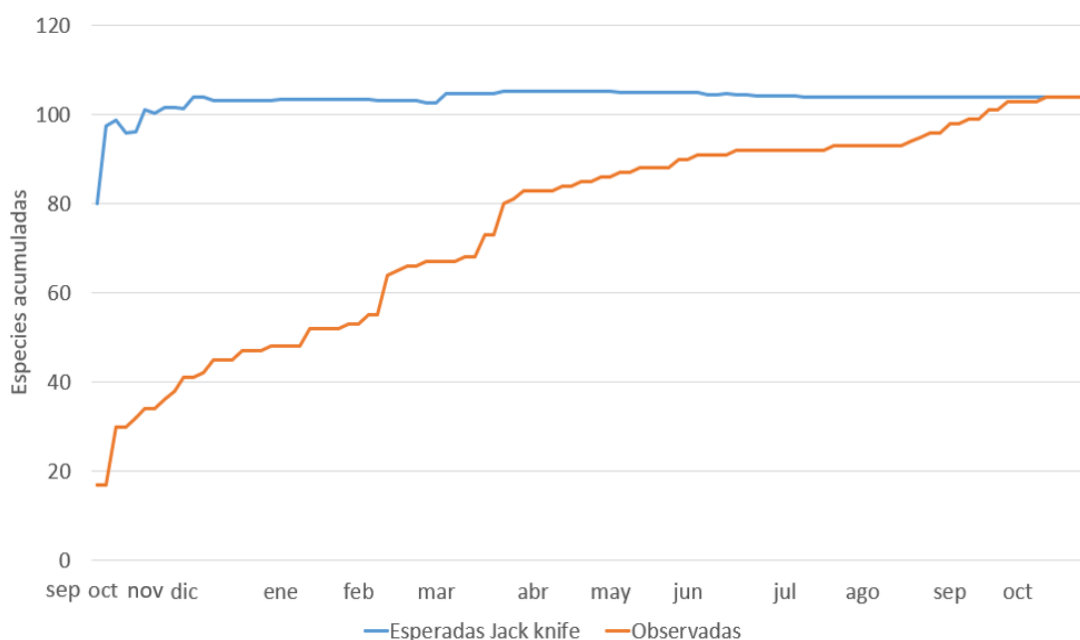


Figura 13. Curva de acumulación de especies.

## Diagramas Olmstead-Tukey

Respecto a los diagramas Olmstead-Tukey (figura 14) muestran que la mayor parte de las especies en todos los sitios fueron raras o frecuentes. No hubo especies poco comunes y variaron las especies dominantes.



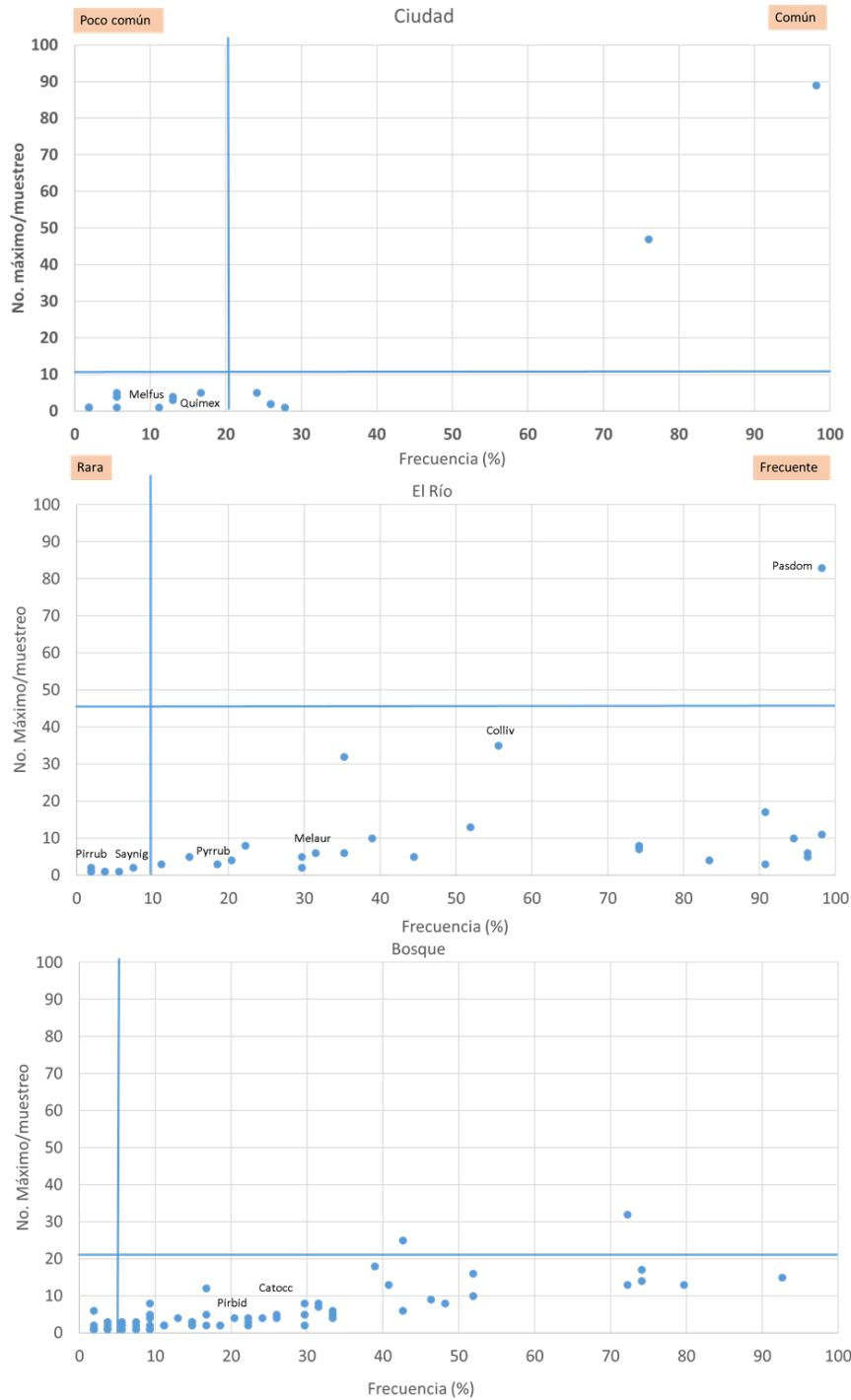


Figura 14. Diagramas de Olmstead-Tukey para las tres localidades. Se anotan especies representativas de cada categoría de Abundancia-Frecuencia. Alfabéticamente: Airuf- *Aimophila rufescens*, Basruf- *Basileuterus rufifrons*, Catgut- *Catharus guttatus*, Catocc- *Catharus occidentalis*, Colinc- *Columbina inca*, Cynlat- *Cyanthus latirostris*, Colliv- *Columba livia*, Haemex- *Haemorhous mexicanus*, Melfor- *Melanerpes formicivorus*, Melfus- *Melospiza fusca*, Paruni- *Parabuteo unicinctus*, Pasdom- *Passer domesticus*, Pirbid- *Piranga bidentata*, Pirrub- *Piranga rubra*, Pticin- *Ptiliogynys cinereus*, Pyrrub- *Pyrocephalus rubinus*, Quimex- *Quiscalus mexicanus*, Saynig- *Sayornis nigricans*, Tactal- *Tachycineta thalassina*, Tromex- *Trogon mexicanus*

## Rango abundancia

De acuerdo con las gráficas Rango-Abundancia (figura 15) en la ciudad dominaron *Columba livia* y *Passer domesticus* ya que registraron hasta 89 y 45 individuos observados por muestreo. En el bosque el capuliner gris *Ptiliogonys cinereus* fue la especie que registró mayor número de individuos con 32, al igual que la golondrina verdemar *Tachycineta thalassina* con 25. Respecto a la homogeneidad de pendientes no hay diferencias significativas entre el Río y la Ciudad ( $F=3.54$ , g.l. 45,1,  $p=0.06$ ), en cambio el bosque tuvo diferencias significativas con el Río ( $F=40.19$ , g.l. 95,1,  $p < 0.001$ ) y con la Ciudad ( $F=36.35$ , g.l. 108,1,  $p < 0.001$ , figura 16).

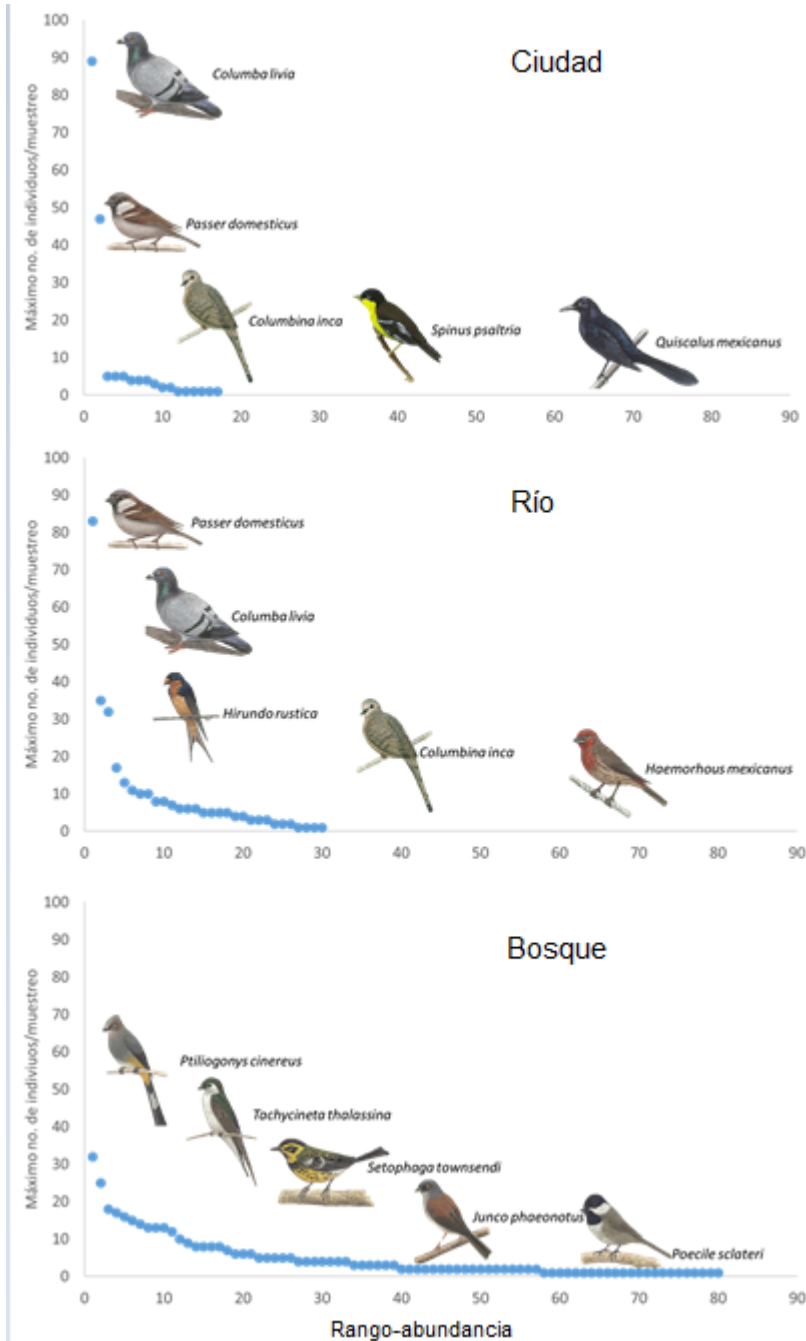


Figura 15. Curvas Rango-Abundancia, se ilustran las cinco especies registradas con mayor abundancia en cada sitio

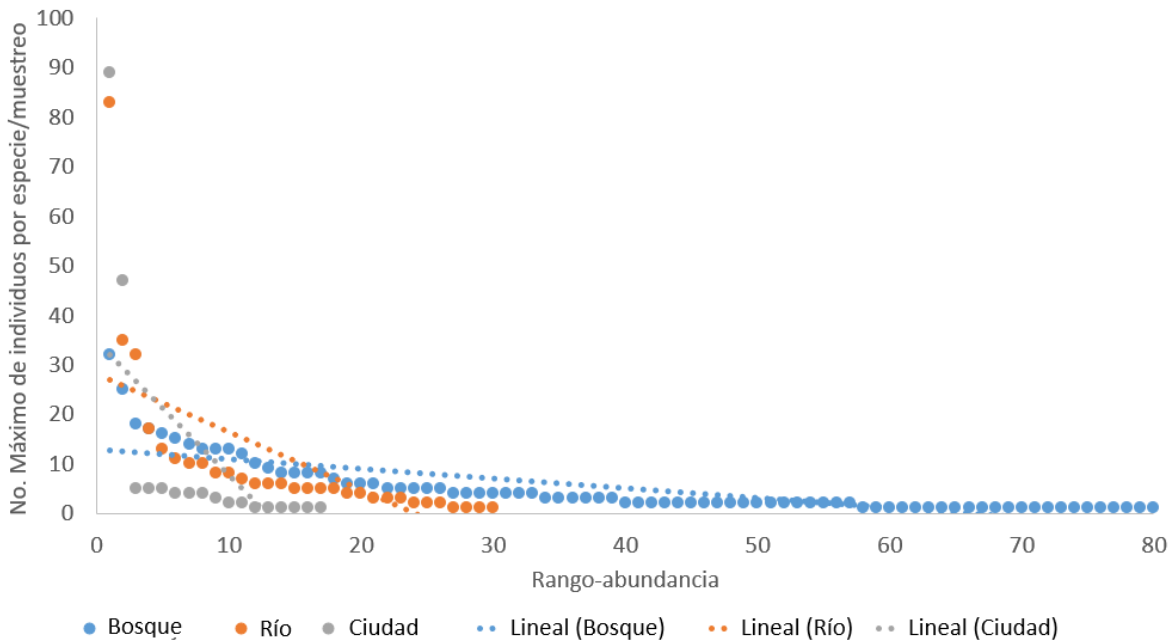


Figura 16. Gráfico de Homogeneidad de Pendientes

### Similitud

El análisis de Jaccard para los sitios del gradiente muestra que La Ciudad y el Río son sitios más similares entre sí y la disimilitud del bosque se debe al gran número de especies no compartidas (Figura 17).

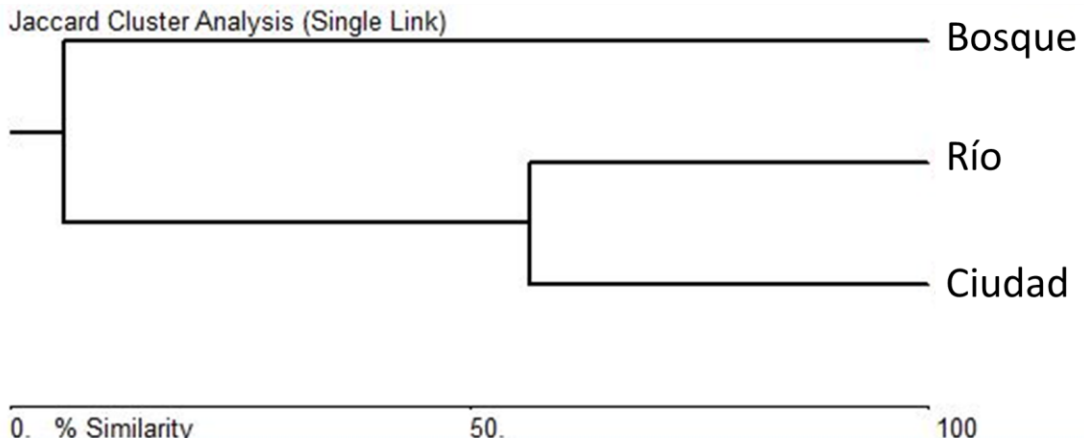


Figura 17. Análisis de Jaccard

### Análisis de rarefacción

El análisis de rarefacción indicó una completitud de 0.966, 0.971 y 0.859 para la Ciudad, el Río y Bosque, respectivamente. Esto sugiere que si existen cambios significativos en la riqueza y composición de especies con grados intermedios de perturbación (figura 18).

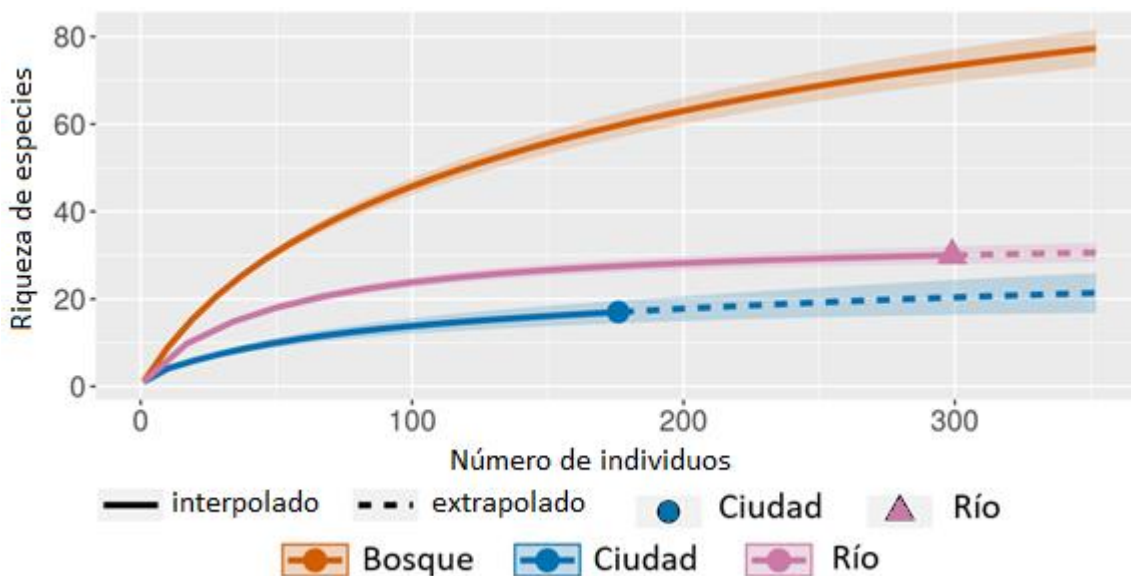


Figura 18. Gráfico de rarefacción

## Discusión

El cambio espacial de vegetación y su fauna asociada ocurre de forma natural, debido a variaciones en el clima y orografía, entre otros factores, por lo que el recambio de especies es algo esperado (Cueto 2006). No obstante, el gradiente abordado en el presente estudio corresponde a cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal debido a procesos de urbanización. De acuerdo con la hipótesis, se esperaba un efecto negativo sobre las especies asociadas a ambientes forestales, como se ha observado en otros estudios de gradientes (Ugalde-Lezama 2009). En efecto, los resultados indicaron diferencias significativas en la riqueza y abundancia de aves, con reducción desde el sitio con grado intermedio de perturbación y un recambio casi total de especies registradas en el bosque respecto al área urbana. Además, de las especies registradas en el bosque templado 20 de ellas se encuentran en alguna categoría de endemismo debido a que Tlazala de Isidro Fabela pertenece al Eje Neovolcánico Transversal y de acuerdo con Chávez-León (2007) esta zona concentra una de las mayores riquezas de endemismo en nuestro país. Las especies endémicas y exclusivas que se encuentran en el bosque templado al presentar requerimientos particulares en su alimentación y anidación, sus poblaciones son vulnerables ya que no han desarrollado estrategias en su historia de vida para enfrentar la reducción de su hábitat (Crocí et al. 2008).

Al cotejar las especies con la NOM-059-SEMARNAT 2010 (SEMARNAT, 2010), se registraron seis especies en alguna categoría de riesgo y respecto a la estacionalidad (Berlanga et al. 2015), la mayoría de las aves son residentes (71%) que migratorias (19 %) debido a que en los tres sitios del gradiente existen características heterogéneas de

vegetación que les proporciona recursos que permite la persistencia de especies residentes (Ramírez-Albores 2010). Esto coincide con otras investigaciones realizadas en bosques templados (Almazan-Nuñez 2009, Ugalde-Lezama 2012). La expansión de los centros urbanos y las actividades antropogénicas han generado pérdida de biodiversidad, pero además se observó el predominio de las aves generalistas, esto es una tendencia observada en otros gradientes de ambientes naturales hacia zonas urbanas (Pineda-López et al. 2012). Tanto los diagramas de Olmstead -Tukey, como los gráficos rango-abundancia, mostraron diferencias en la composición de la avifauna; en el bosque hubo menos dominancia de especies y mayor riqueza como el clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*), la coa mexicana (*Trogon mexicanus*), el rascador cejas verdes (*Arremon virenticeps*) y el carbonero mexicano (*Poecile sclateri*), entre muchas otras que solo se registraron en el bosque. En contraste, en la Ciudad dominaron *Columba livia* y *Passer domesticus*. Ambas especies son indicadoras del grado de antropización de un lugar porque al ser tan abundantes reducen la riqueza de la avifauna (MacGregor-Fors et al. 2009 y Navarro et al. 2016).

Los aumentos en la abundancia son generados debido a que son especies que tienen estrategias de historia de vida adaptadas con una gran flexibilidad conductual, fisiológica y ecológica, pueden tolerar altos grados de contaminación, parches de calor, ruido y pueden explotar nuevos recursos como alimentarse de una gran variedad de alimentos e incluso de la basura generada en las ciudades (Crocì et al. 2008), reproducirse en una amplia gama de condiciones climáticas y anidar en una gran cantidad de estructuras lo que aumenta su rendimiento reproductivo (Almazán-Nuñez et al. 2010, Newbold et al. 2014 y Gordo et al. 2021). Bajo estas condiciones predominan y prosperan en áreas antropizadas (Bonier et al. 2007). Estas características dan como resultado comunidades de aves que están dominadas por pocas especies y pueden modificar la dinámica de población, la estructura de la comunidad o incluso los procesos a nivel de los ecosistemas (MacGregor-Fors & Schondube 2010).

Así mismo en la ciudad y en el sitio intermedio se registraron *Sturnus vulgaris* y *Myiopsitta monachus*, aves que además de no tener un origen autóctono, son consideradas especies invasoras que se han establecido en ambientes urbanos y pueden tener un impacto ecológico en el ensamble de aves, incluso convertirse en plaga (Albonetti et al. 2022). Se tiene el registro que las especies invasoras han generado la disminución de las poblaciones de especies nativas de aves (Elliott et al. 2010). Este desplazamiento se debe particularmente a que compiten agresivamente por las cavidades para anidar y en el caso de *Sturnus vulgaris* se sugiere que es una de las principales causas de la disminución de la población de los pájaros carpinteros (*Sphyrapicus* spp., Koenig 2003, Linz et al. 2007). Esto coincide con la presente investigación, ya que durante las observaciones se registraron agresiones de *Sturnus vulgaris* contra *Melanerpes formicivorus* y viceversa, ya que competían por cavidades para anidar y alimento.

Sin embargo, estas actividades antropogénicas que benefician a ciertas especies perjudican a otras. Por ejemplo, la expansión de la ganadería y el aprovechamiento de los árboles como recurso maderable y el cambio de uso de suelo sin ordenamiento territorial ponen en riesgo la cobertura del bosque templado generando pérdida de biodiversidad provocado por la escasez de hábitat y recursos (Muñoz-Padilla 2016) ya que al fragmentarse estas áreas se

interrumpen procesos ecológicos, ocasionando la pérdida y extinción local de varias especies de aves (Moreno-Barajas et al. 2021, Vega-Chávez 2021, Ugalde-Lezama, et al. 2022).

Entre las aves que solo se registraron en el bosque se encuentra la Coa Mexicana (*Trogon mexicanus*), siendo además el primer registro reciente de la especie en la zona. Esta exclusión puede deberse a que utilizan las zonas boscosas para llevar a cabo su fase reproductiva, desde reconocimiento, cortejo, selección del nido en árboles grandes, alimentación y vuelo de los juveniles (Vázquez-Regalado 2015). Al ser un ave asociada a ambientes forestales, los cambios en las condiciones ecológicas por las actividades antropogénicas reducen su hábitat y los recursos alimentarios, lo que disminuye el tamaño de la población, la supervivencia y el rendimiento reproductivo lo que puede originar una extinción local (Newbold et al. 2013). En el presente estudio esta condición de exclusión se repitió con 72 de las 80 especies de aves registradas en el bosque templado.

Otro ejemplo fueron los pájaros carpinteros registrados en el bosque, también son afectados por la tala, ya que al disminuir la abundancia y riqueza de árboles hay menos disponibilidad de árboles con características adecuadas para anidar (diámetro del tronco, altura, dureza de la madera) lo que produce cambios en la abundancia, distribución y puede limitar el tamaño poblacional (Schaaf et al. 2022). Esto no solo afecta a los carpinteros, sino también a otras aves que anidan en cavidades (Monterrubio-Rico y Escalante-Pliego 2006). Una excepción fue el carpintero bellotero (*Melanerpes formicivorus*), ya que en la periferia del bosque y en la ciudad, donde la disponibilidad de recursos para anidar es escasa, se observó anidar en postes de madera de tendido telefónico y eléctrico. Esto es considerado como un factor de respuesta ante la presión creada por la destrucción y fragmentación de su hábitat (Muro-Hidalgo 2018)

Ahora bien, el sitio del bosque templado, por las características propias del mismo, como la vegetación fragmentada, corresponde a un borde de bosque. Pese a este factor, se registraron especies de aves propias de bosque templado, inclusive endémicas y con categoría de riesgo.

Además, con la fragmentación debido a la pérdida de hábitat, los parches individuales se vuelven más pequeños y aislados y, por lo tanto, es menos probable que sustenten una población local (Huang et al. 2019). Esto es particularmente importante para especies de distribución restringida, y en la presente investigación las aves endémicas no estuvieron representadas en la ciudad y se registraron de manera exclusiva en el bosque como la chara transvolcánica (*Aphelocoma ultramarina*) y el chipe rojo (*Cardellina rubra*). Estas especies experimentan los principales efectos negativos con la modificación de los ambientes naturales para otros usos de la tierra (agrícola, industrial, urbano y extractivo). Estas actividades constituyen una amenaza significativa a corto y mediano plazo para la persistencia de los bosques templados que albergan altos niveles de riqueza y endemismo (Almazán-Núñez et al. 2018 y Brooks et al. 2002). En el Estado de México la pérdida de bosques templados es notable, Pineda y colaboradores (2009) calculan que en un periodo de nueve años el Estado de México perdió 13, 690 ha de diversos tipos de bosque.



Los bosques templados poseen una de las mayores riquezas de especies endémicas debido a la interacción de muchos factores históricos y evolutivos (Almazán-Nuñez et al. 2009, Villaseñor y Ortiz 2014). Los resultados de esta investigación mostraron que las actividades antropogénicas y el cambio de uso de suelo de terrenos forestales afectó drásticamente la composición de la avifauna. En este sentido, la pérdida de la riqueza de aves puede ser un indicador de lo que debe estar ocurriendo con otros organismos y en muchas otras zonas boscosas de nuestro país, como resultado del cambio de uso de suelo.

## **Conclusiones**

Las localidades del gradiente mostraron diferencias en la composición y abundancia de la avifauna. La zona forestal presentó la mayor riqueza de especies, con aves asociadas a bosque, mientras que en la localidad intermedia y en la ciudad el recambio de especies fue casi total.

En la ciudad dominaron aves explotadoras urbanas como *Columba livia* y *Passer domesticus* y especies exóticas, que también estuvieron presentes en la localidad intermedia. Además, solo en estas dos localidades se registraron *Myiopsitta monachus* y *Sturnus vulgaris* que son especies exóticas invasoras. En cambio, sólo dos especies se registraron en las tres localidades, *Melanerpes formicivorus* y *Cardellina pusilla*.

Pese a que el área forestal correspondió a un borde de vegetación fragmentada, mantuvo una importante representación de aves propias de bosque templado, incluyendo especies endémicas y con categoría de riesgo.

## Literatura citada

- Albonetti, P., P., Milia, L., Trentini, R. y De Massis, F. (2022). Le popolazioni di storni in ambito urbano: problematiche e metodi di controllo. *Veterinaria Italiana, Collana di monografie, Monografia*. 29 (1), pp. 5-30.
- Almazán-Núñez, R. A. y Hinterholzer-Rodríguez, A. (2010). Dinámica temporal de la avifauna en un parque urbano de la ciudad de Puebla, México. *Huitzil*. 11 (1), pp. 26-34.
- Almazán-Núñez, R., A., Puebla-Olivares, F., y Almazán Juárez, A. (2009). Diversidad de aves en bosques de pino-encino del centro de Guerrero, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 25 (1), pp. 123-142.
- Almazán-Núñez, R., C., Sierra-Morales, P., Rojas-Soto, O., R., Jiménez-Hernández, J. y Méndez-Bahena, A. (2018). Effects of Land-Use Modifications in the Potential Distribution of Endemic Bird Species Associated with Tropical Dry Forest in Guerrero, Southern Mexico. *Tropical Conservation Science*, 11 (1), pp. 1-11.
- Arriola-Padilla, V. J., Estrada-Martínez, E., Ortega-Rubio, A., Pérez-Miranda, R., Gijón-Hernández, A. R. (2014). Deterioration innatural protected areas of central México and the Transversal Neo-volcanic Axis. *Investigación y Ciencia*, 22 (60), pp. 37-49.
- Berlanga, H., Gómez, H., Vargas, V., Rodríguez, V., Sánchez, L., Ortega, R., y Calderón, R. (2015). Aves de México. Lista actualizada de especies y nombres comunes. México D.F: CONABIO.
- Bonier, F., Martin, P., R. y Wingfield, J., C. (2007). Urban birds have broader environmental tolerance. *Biology Letters*. 3 (6), pp. 670–673.
- Brooks, T., M., Mittermeier, R., A., Mittermeier, C., G., Da Fonseca, G., A., B., Rylands, A., B., Konstant, W., R., Flick, P., Pilgrim, J., Oldfield, S., Magin, G. y Hilton-Taylor, C. (2002). Habitat Loss and Extinction in the Hotspots of Biodiversity. *Conservation Biology*, 16 (4), pp. 909-923.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K. and Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84, 45-67.
- Croci, S., Butet, A., y Clergeau, P. (2008). Does Urbanization Filter Birds on the Basis of Their Biological Traits. *The Condor*. 110 (2), pp. 223–240.
- Cueto, V., R. (2006). Escalas en ecología: su importancia para el estudio de la selección de hábitat en aves. *Hornero*. 21 (1), pp. 1-13.
- De Sucre, A. E., Ramírez, P., Gómez, H., y Ramírez, S. (2009). Aves. G. Ceballos. (Ed), *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado*. (pp. 131-144). Toluca de Lerdo, Estado de México, México: CONABIO.
- Dunn, J. L. y Alderfer, J. (2017). *Field guide to the birds of North America*. Seventh edition. National Geographic.

- Elliott, G., P., Wilson, P., R., Taylor, R., H. y Beggsc, J., R. (2010). Declines in common, widespread native birds in a mature temperate forest. *Biological Conservation*. 143 (9), pp. 2119-2126.
- Google Earth Pro. Mapas de Nicolás Romero y Tlazala de Isidro Fabela, (2018). Recuperado de <https://earth.google.com>
- Gómez De Silva, H. G., y Medellín, R. A. (2001). Evaluating Completeness of Species Lists for Conservation and Macroecology: a Case Study of Mexican Land Birds. *Conservation Biology*, 15 (5), pp. 1384-1395.
- Gordo, O., Brotons L., Herrando, S. y Gargallo, G. (2021). Rapid behavioral response of urban birds to COVID-19 lockdown. *Proceedings B. Royal Society Publishing*. 288 pp. 1-8.
- Hammer, O., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). PAST. Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. Recuperado 5 de abril 2022. [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Huang, R., Pimm, S., L. y Giri, C. (2019). Using metapopulation theory for practical conservation of mangrove endemic birds. *Conservation biology*, 34 (1), pp. 266–275.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009a). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Isidro Fabela, México. Clave Geoestadística 15038.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009b). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Nicolás Romero, México. Clave Geoestadística 15060.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). Cuéntame de México. Mapa del Estado de México con división política. Recuperado 28 de noviembre de 2021. <http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/mex.aspx?tema=M>
- IOC International Ornithological Council. (2021). IOC World Bird List. Recuperado de <https://www.worldbirdnames.org/new/classification/orders-of-birds-draft/>
- Jaña-Prado, R., Celis-Diez, J., L., Gutiérrez, A., G., Cornelius, C. y Armesto, J., J. (2007). Diversidad en bosques fragmentados de Chiloé: ¿Son todos los fragmentos iguales? *Ambientes*. 8 (10), pp. 159-189.
- Jiménez-Peñuela, J. (2021). Impact of landscape anthropization on pathogen transmission dynamics and wild birds' health. Thesis. Universidad de Sevilla, Seville, Spain.
- Koenig, W., D. (2003). European starlings and their effect on native cavity-nesting birds. *Conservation Biology*. 17 (1), pp. 1134–1140.
- Lazarina, M., Tsianou, M. A., Boutsis, G., Andrikou-Charitidou, A., Karadimou, A. y Kallimanis, A. S. (2020). Urbanization and Human Population Favor Species Richness of Alien Birds. *Diversity*. 12 (72), pp. 1-11.

- Linz, G., M., Homan, H., J. Gaulker, S., M., Penry, L., B. y Bleier, W., J. (2007). European Starlings: a review of an invasive species with far-reaching impacts. *Managing Vertebrate Invasive Species*. 24 (1). pp. 378-386.
- MacGregor-Fors, I. y Schondube, J., E. (2010). Use of Tropical Dry Forests and Agricultural Areas by Neotropical Bird Communities. *Biotropica*, 43 (3), pp. 365 - 370.
- MacGregor-Fors, I., Morales-Pérez, L., Quesada, J., Schondube, J., E. (2009). Relationship between the presence of House Sparrows (*Passer domesticus*) and Neotropical bird community structure and diversity. *Biological Invasions*. 12 (1), pp. 87–96.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. USA: Blackwell Science.
- McAleece, N., Gage, J. D. G., Lamshead, P. J. D., y Paterson, G. L. J. (1997). BioDiversity Professional statistics analysis software. Jointly developed by the Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London. *Hornero*. 19 (1) pp. 13-21.
- Moilanen, A. y Hanski, I. (1998). Metapopulation dynamics: effects of habitat quality and landscape structure. *Ecological Society of America*. 79 (7), pp. 2503-2515.
- Monterrubio-Rico, T., C. y Escalante-Pliego, P. (2006). Richness, distribution and conservation status of cavity nesting birds in Mexico. *Biological conservation*. 128 (1) pp. 67-78.
- Moreno-Barajas, R., Rogel-Fajardo, I., Colindres-Jardón, I. (2021). Vertebrados en las Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. Análisis de registros de bases de datos. *Revista de Estudios Territoriales*. 23 (2), pp. 131-147.
- Muñoz-Padilla, N., A. (2016). Ecología reproductiva de aves en dos tipos de hábitat secundario en la subprovincia fisiográfica de los Llanos de Ojuelos, México. Tesis de Maestría. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara.
- Muro-Hidalgo, K., A. (2018). Hábitat de anidación y alimentación del pájaro carpintero bellotero *Melanerpes formicivorus* en zonas con distintos grados de perturbación en Villa del Carbón, Estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarro, J., Leirana-Alcocer, J., Hernández-Betancourt, S., y Guerrero-González, L. (2016). Palomas (Columbidae), pájaros carpinteros (Picidae) y colibríes (Trochilidae) como indicadores de sucesión en la selva baja de Dzilam, Yucatán, México. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 17 (1), pp. 1-7.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Townsend-Peterson, A., Berlanga-García, H. y Sánchez-González, L.A. (2014). Biodiversidad de Aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85, pp. 476-495.
- Newbold, T., Scharlemann, J.P.W., Butchart, S.H.M., Sekerciog, C.H., Joppa, L., Alkemade, R. y Purves, D.W. (2014). Functional traits, land-use change and the structure of present and future bird communities in tropical forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.* (23), pp. 1-11.

- Newbold, T., Scharlemann, J.P.W., Butchart, S.H.M., Sekercioglu, C., HAlkemade, R., Booth, H., y Purves, D., W. (2013). Ecological traits affect the response of tropical forest bird species to land-use intensity. *Proceedings of The Royal Society. Biological Sciences.* 280 pp. 1-8.
- Nieto-De Pascua, M. C. C. (2009). Coníferas. G. Ceballos. (Ed), *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado.* (pp. 177-186). Toluca de Lerdo, Estado de México, México: CONABIO.
- Pineda-López, R., Malagamba Rubio, A., y Ojeda Orranti, J. A. (2013). Detección de aves exóticas en parques urbanos del centro de México. *Huitzil*, 14(1), pp. 56-64.
- Pineda, N. B., Bosque, J., Gómez, M., y Plata, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (69), pp. 33-52.
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., De Sante, D.F. y Milá, F. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres.* Forest Service Gen. 151, pp. 1-51.
- Ramírez-Albores, J., E. (2010). Diversidad de aves de hábitats naturales y modificados en un paisaje de la Depresión Central de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 58 (1), pp. 511-528.
- Ramírez-Bastida, P., Vázquez-Reyes, L., D. y Navarro-Sigüenza, A., G. (2015). Aves de los encinares mexicanos: riqueza específica, endemismo y relaciones faunísticas. *Encinos de México (Quercus, Fagaceae)*, 100, pp. 91-128.
- Remolina-Figueroa, D. (2019). Efecto de la disponibilidad de artrópodos en la estructura del ensamble migratorio de aves insectívoras en el gradiente de perturbación del bosque tropical seco del Alto Balsas de Guerrero, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rzedowski, J. (1992). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Ciencias*, 6, pp. 47-56.
- Sánchez-González, A., Martínez-Falcón, A. P., Octavio-Aguilar, P., Martínez-Hernández, S., Ramírez-Bautista, A., Bravo-Cadena, J., Galván-Hernández, D., Ortiz-Pulido, R. (2021). Conservación biológica: el caso de algunos grupos de insectos, anfibios, reptiles, aves y plantas en México. *Herreriana*. 3 (1), pp. 13-17.
- Schaaf, A. A., Gomez, D., Tallei, E., Vivanco, C. G., Ruggera, R. A. (2021). Functional Traits on Cavity-nesting Birds in Subtropical Andean Forest: Response to Logging Activity and Comparing with American Temperate Forests. *Research Square*. pp. 1-14.
- Schaaf, A., A., García, C., G., Ruggera, R., A., Tallei, E., Vivanco, C., G., Rivera, L. y Politi, N. (2022). Influence of logging on nest density and nesting microsites of cavity-nesting birds in the subtropical forests of the Andes. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 95 (1) pp. 73–82.

- SEMARNAT (2010). Norma Oficial Mexicana. NOM-059- SEMARNAT-2010. Protección ambiental–especies nativas de México de flora y fauna silvestres – categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 30 diciembre de 2010, Segunda Sección. México.
- Squeo, F. (2003). Clasificación revisada de los ecosistemas terrestres del país y sus prioridades de conservación. Universidad de La Serena. Chile.
- Steel, G. D. R., Torrie, H. J. (1985). Bioestadística: principios y procedimientos. Segunda edición. Ed. McGraw-Hill, Bogotá-Colombia.
- Ugalde-Lezama, S., Alcántara-Carbajal, J. L., Tarango-Arámbula, L. A., Ramírez-Valverde, G., y Mendoza-Martínez, G. (2012). Vegetation physiognomy and abundance of birds in a temperate forest with two disturbance levels in the Eje Neovolcánico Transversal. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, pp. 133-143.
- Ugalde-Lezama, S., Romero-Díaz, C., Tarango-Arámbula, L., A. y García-Núñez, R., M. (2022). Influencia del hábitat en la diversidad de aves insectívoras en un sistema agroforestal enclavado en un Bosque Mesófilo de Montaña. *Biología y Química*, 16 (2), pp. 6-25.
- Ugalde-Lezama, S., Valdéz-Hernández, J. I., Ramírez-Valverde, G., Alcántara-Carbajal, J. L., y Velázquez-Mendoza, J. (2009). Vertical distribution of birds in a temperate forest with different perturbation levels. *Madera y bosques*, 15 (1), pp. 5-26.
- Vazquez-Regalado, S. (2015). Análisis de patrones y caracterización de hábitat de *Trogon* spp y *Euptilotis* sp. aplicando sistemas de información geográfica en la Sierra Madre Occidental en el estado de Chihuahua. Tesis de Licenciatura. Instituto de Arquitectura, Diseño y Artes. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Vega-Chávez, L. (2021). Almacén de carbono y percepción social de las contribuciones del bosque *Pinus hartwegii* en el municipio de Isidro Fabela, Estado de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Vergara, P. M., Fierro, A., Alaniz, A. J., Carvajal, M. A., Lizama, M. y Llanos, J. L. (2020). Landscape-scale effects of forest degradation on insectivorous birds and invertebrates in austral temperate forests. *Landscape Ecology*. pp. 1-18.
- Villaseñor, J., L. y Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, pp. 134-142.

## Anexo

Arreglo sistemático de acuerdo con IOC 2021 De acuerdo con el análisis Olmstead Tukey al relacionar la frecuencia -abundancia se obtuvieron las categorías poco común, común, frecuente y rara. Categorías de endemismo con la clasificación de Berlanga et al. 2015; Endémicas (EN), Semiendémicas (SE), Cuasiendémicas (CE). Categorías de riesgo cotejado con la Norma Oficial Mexicana, NOM-059-SEMARNAT 2010; Sujetas a protección especial (Pr), Amenazadas (A), En peligro de extinción (P), Probablemente extintas en el medio silvestre (E). Categorías de estacionalidad según los criterios de Berlanga et al. 2015; Residente (R), Migratorias de Invierno (MI), Migratorio de Verano (MV), Transitoria o Transeúnte (T), Accidental (A).

Taxón	Ciudad	El Río	Bosque	Endemismo	NOM-059	Estacionalidad
<b>COLUMBIFORMES</b>						
<b>Columbidae</b>						
<i>Columba livia</i>	Común	Frecuente		Exótica	-	R
<i>Columbina inca</i>	Frecuente	Frecuente		-	-	R
<b>APODIFORMES</b>						
<b>Trochilidae</b>						
<i>Eugenes fulgens</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Lampornis clemenciae</i>			Frecuente	Semiendémica	-	R
<i>Cyanthus latirostris</i>	Rara	Frecuente		Semiendémica	-	R
<i>Saucerottia beryllina</i>		Frecuente		-	-	R
<i>Basilinna leucotis</i>			Frecuente	-	-	R
<b>PELECANIFORMES</b>						
<b>Ardeidae</b>						
<i>Ardea alba</i>	Rara	Frecuente		-	-	MI
<i>Nycticorax nycticorax</i>		Rara		-	-	R
<b>CATHARTIFORMES</b>						
<b>Cathartidae</b>						
<i>Cathartes aura</i>			Frecuente	-	-	R
<b>ACCIPITRIFORMES</b>						
<b>Accipitridae</b>						
<i>Accipiter striatus</i>			Rara	-	Pr	R

Taxón	Ciudad	El Río	Bosque	Endemismo	NOM-059	Estacionalidad
<i>Parabuteo unicinctus</i>	Frecuente	Frecuente		-	Pr	R
<i>Buteo albonotatus</i>			Rara	-	Pr	T
<i>Buteo jamaicensis</i>			Frecuente	-	-	R
<b>TROGONIFORMES</b>						
<b>Trogonidae</b>						
<i>Trogon mexicanus</i>			Rara	-	-	R
<b>PICIFORMES</b>						
<b>Picidae</b>						
<i>Melanerpes formicivorus</i>	Frecuente	Frecuente	Frecuente	-	-	R
<i>Melanerpes aurifrons</i>		Frecuente	Frecuente	-	-	R
<i>Sphyrapicus varius</i>			Frecuente	-	-	MI
<i>Dryobates scalaris</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Colaptes auratus</i>			Frecuente	-	-	R
<b>PSITTACIFORMES</b>						
<b>Psittacidae</b>						
<i>Myiopsitta monachus</i>	Rara	Frecuente		Exótica	-	R
<b>PASSERIFORMES</b>						
<b>Tyrannidae</b>						
<i>Contopus cooperi</i>			Rara	-	-	T
<i>Contopus pertinax</i>	Rara	Frecuente		-	-	R
<i>Contopus sordidulus</i>			Rara	-	-	MV
<i>Empidonax hammondi</i>		Rara		-	-	MI
<i>Empidonax sp.</i>			Frecuente	-	-	O
<i>Sayornis nigricans</i>		Rara	Frecuente	-	-	R
<i>Pyrocephalus rubinus</i>		Frecuente		-	-	R
<b>Laniidae</b>						
<i>Lanius ludovicianus</i>			Frecuente	-	-	R
<b>Vireonidae</b>						
<i>Vireo bellii</i>			Frecuente	-	-	T
<i>Vireo huttoni</i>			Frecuente	.	-	R



Taxón	Ciudad	El Río	Bosque	Endemismo	NOM-059	Estacionalidad
<i>Vireo cassinii</i>			Rara	Semiendémica	-	MI
<b>Corvidae</b>						
<i>Cyanocitta stelleri</i>			Rara	-	-	R
<i>Aphelocoma ultramarina</i>			Rara	Endémica	-	R
<b>Hirundinidae</b>						
<i>Tachycineta thalassina</i>			Común	-	-	R
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>			Rara	-	-	T
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>			Frecuente	-	-	MV
<i>Hirundo rustica</i>		Frecuente		-	-	R
<b>Paridae</b>						
<i>Poecile sclateri</i>			Frecuente	Cuasiendémica	-	R
<b>Aegithalidae</b>						
<i>Psaltriparus minimus</i>			Frecuente	-	-	R
<b>Sittidae</b>						
<i>Sitta carolinensis</i>			Frecuente	-	-	R
<b>Certhiidae</b>						
<i>Certhia americana</i>			Rara	-	-	R
<b>Troglodytidae</b>						
<i>Troglodytes aedon</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Thryomanes bewickii</i>	Rara	Frecuente		-	-	R
<b>Poliophtilidae</b>						
<i>Poliophtila caerulea</i>	Rara	Frecuente		-	-	R
<b>Regulidae</b>						
<i>Regulus satrapa</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Regulus calendula</i>			Frecuente	-	-	MI
<b>Turdidae</b>						
<i>Sialia mexicana</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Myadestes occidentalis</i>			Frecuente	-	Pr	R
<i>Catharus aurantiirostris</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Catharus occidentalis</i>			Frecuente	Endémica	-	R

Taxón	Ciudad	El Río	Bosque	Endemismo	NOM-059	Estacionalidad
<i>Catharus frantzii</i>			Frecuente	-	A	R
<i>Catharus guttatus</i>			Frecuente	-	-	MI
<i>Turdus assimilis</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Turdus rufopalliatus</i>			Frecuente	Endémica	-	R
<i>Turdus migratorius</i>		Frecuente		-	-	R
<b>Mimidae</b>						
<i>Melanotis caerulescens</i>			Frecuente	Endémica	-	R
<i>Mimus polyglottos</i>			Frecuente	-	-	R
<b>Sturnidae</b>						
<i>Sturnus vulgaris</i>	Rara	Rara		Exótica	-	R
<b>Ptiliognatidae</b>						
<i>Ptiliognys cinereus</i>			Común	Cuasiendémica	-	R
<i>Phainopepla nitens</i>			Frecuente	-	-	R
<b>Peucedramidae</b>						
<i>Peucedramus taeniatus</i>			Frecuente	-	-	R
<b>Passeridae</b>						
<i>Passer domesticus</i>	Común	Común		Exótica	-	R
<b>Fringillidae</b>						
<i>Haemorhous mexicanus</i>	Frecuente	Frecuente		-	-	R
<i>Spinus pinus</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Spinus psaltria</i>	Rara	Frecuente		-	-	R
<b>Passerellidae</b>						
<i>Arremon virenticeps</i>			Frecuente	Endémica	-	R
<i>Atlapetes pileatus</i>			Frecuente	Endémica	-	R
<i>Pipilo maculatus</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Aimophila ruficeps</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Melospiza fusca</i>	Rara	Frecuente		-	-	R
<i>Oriturus superciliosus</i>			Rara	Endémica	-	R
<i>Passerculus sandwichensis</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Melospiza melodia</i>		Frecuente		-	-	R

Taxón	Ciudad	El Río	Bosque	Endemismo	NOM-059	Estacionalidad
<i>Melospiza lincolni</i>			Rara	-	-	MI
<i>Melospiza georgiana</i>			Frecuente	-	-	MI
<i>Junco phaeonotus</i>			Frecuente	Cuasiendémica	-	R
<b>Icteridae</b>						
<i>Icterus cucullatus</i>		Frecuente		Semiendémica	-	T
<i>Icterus bullockii</i>			Frecuente	Semiendémica	-	MI
<i>Molothrus aeneus</i>			Frecuente	-	-	MV
<i>Quiscalus mexicanus</i>	Rara	Frecuente		-	-	R
<b>Parulidae</b>						
<i>Parkesia motacilla</i>			Frecuente	-	-	MI
<i>Oreothlypis superciliosa</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Leiothlypis celata</i>			Frecuente	-	-	MI
<i>Oreothlypis ruficapilla</i>			Frecuente	-	-	MI
<i>Geothlypis tolmiei</i>			Frecuente	-	A	MI
<i>Setophaga petechia</i>		Frecuente		-	-	MV
<i>Setophaga coronata</i>			Rara	-	-	R
<i>Setophaga nigrescens</i>		Rara		Semiendémica	-	MI
<i>Setophaga townsendi</i>			Frecuente	-	-	MI
<i>Setophaga occidentalis</i>			Frecuente	-	-	MI
<i>Basileuterus rufifrons</i>			Frecuente	Cuasiendémica	-	R
<i>Basileuterus belli</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Cardellina pusilla</i>	Rara	Frecuente	Frecuente	-	-	MI
<i>Cardellina rubrifrons</i>			Frecuente	Semiendémica	-	MI
<i>Cardellina rubra</i>			Frecuente	Endémica	-	R
<i>Myioborus pictus</i>			Frecuente	-	-	R
<i>Myioborus miniatus</i>			Frecuente	-	-	R
<b>Cardinalidae</b>						
<i>Piranga flava</i>			Rara	-	-	R
<i>Piranga rubra</i>		Rara	Frecuente	-	-	MI
<i>Piranga bidentata</i>			Frecuente	-	-	R

Taxón	Ciudad	El Río	Bosque	Endemismo	NOM-059	Estacionalidad
<i>Pheucticus melanocephalus</i>			Frecuente	Semiendémica	-	R
<i>Passerina caerulea</i>			Rara	-	-	R
<b>Thraupidae</b>						
<i>Diglossa baritula</i>			Frecuente	-	-	R