



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Variación de las comunidades de aves terrestres en  
tres ecotonos peri-urbanos de la región Noreste de la  
Zona Metropolitana de la Ciudad de México**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**AURA LIBERTAD PUGA CABALLERO**

**TUTOR:**

**M. en C. MARCOS RUBÉN ORTEGA ÁLVAREZ**

**2012**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## Hoja de Datos del Jurado

### 1. Datos del alumno

Puga

Caballero

Aura Libertad

57409340

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

303090658

### 2. Datos del tutor

M en C

Marcos Rubén

Ortega

Álvarez

### 3. Datos del sinodal 1

Dr

Adolfo Gerardo

Navarro

Singüenza

### 4. Datos del sinodal 2

Dr

Ian

MacGregor

Fors

### 5. Datos del sinodal 3

M en C

Alejandro

Meléndez

Herrada

6. Datos del sinodal 4

M en C

María Fanny

Rebón

Gallardo

7. Datos del trabajo escrito

Variación de las comunidades de aves terrestres en tres ecotonos peri-urbanos de la región  
Noreste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

54 p

2012

## AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México por ser la Gran contribuyente de mi educación profesional. La Universidad revolucionó mis paradigmas, en ella me he educado, he crecido, he investigado, he competido, he bailado, he vivido.

Al Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias y al Taller de Faunística, Sistemática y Biogeografía de Vertebrados Terrestres de México por darme la oportunidad de estudiar a mis bichos favoritos.

A la Coordinación General de Conservación Ecológica del Estado de México y a la Administración del Parque Sierra de Guadalupe por su apoyo en la realización de este trabajo.

Mi muy especial agradecimiento a Rubén Ortega Álvarez por su paciencia y dirección durante el desarrollo de este trabajo. Igualmente un especial agradecimiento a Ian MacGregor Fors por sus valiosas contribuciones a este trabajo. Ambos son grandes maestros y ornitólogos dignos de emular.

Un agradecimiento a todos los ornitólogos, mastozoólogos y herpetólogos del Museo de Zoología, gracias a sus comentarios y ejemplos he aprendido mucho. Especialmente, un agradecimiento a Adolfo Navarro por su ejemplo de completa dedicación a la Ciencia.

A Fanny Rebón y Alejandro Gordillo por sus consejos y apoyo constante durante y después de mi estancia en el Taller. A Marco Ortiz por su apoyo para la identificación de cantos de aves.

A Adolfo Navarro, Alejandro Meléndez y Fanny Rebón que enriquecieron este trabajo con sus comentarios y observaciones.

Mi gran agradecimiento a mi familia, sin ellos nada de esto sería posible. Les agradezco todo lo que han hecho por mí.

Otro especial agradecimiento a la familia Torrijos-Solís por su apoyo y hospitalidad durante el desarrollo del presente trabajo.

A mis mejores amigos: Julio, Aratzeni, Marisol y Arturo que a pesar de conocerme siguen siendo mis amigos.

Mi profundo agradecimiento a Aarón, que camino conmigo cada metro de los más de cincuenta kilómetros de este trabajo y que me dio su paciencia, tiempo y cariño.

*A mis padres, sin ustedes soy nada*

*A mi hermano, siempre mi héroe, siempre mi amigo*

*A mi tío Gus, mi otro papá*

*A Aarón, que el sueño nunca termine*

Percibo lo secreto, lo oculto:

¡Oh vosotros señores!

Así somos,

somos mortales,

de cuatro en cuatro nosotros los hombres,

todos habremos de irnos,

todos habremos de morir en la tierra...

Como una pintura

nos iremos borrando.

Como una flor,

nos iremos secando

aquí sobre la tierra.

Como vestidura de plumaje de ave zacuán,

de la preciosa ave de cuello de hule,

nos iremos acabando...

Meditadlo, señores,

águilas y tigres,

aunquefuérais dejade,

aunque fuérais de oro

también allá iréis,

al lugar de los descarnados.

Tendremos que desaparecer,

nadie habrá de quedar

*Nezahualcóyotl*

## ÍNDICE GENERAL

<b>Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
<i>1.1 Objetivos.....</i>	<i>7</i>
<b>2. Método.....</b>	<b>8</b>
<i>2.1 Área de estudio.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2 Caracterización del hábitat.....</i>	<i>11</i>
<i>2.3 Muestreo de aves.....</i>	<i>11</i>
<i>2.4 Análisis de datos.....</i>	<i>15</i>
<b>3. Resultados.....</b>	<b>17</b>
<i>3.1 Caracterización del hábitat.....</i>	<i>17</i>
<i>3.2 Muestreo de aves.....</i>	<i>17</i>
<i>3.3 Riqueza de especies.....</i>	<i>26</i>
<i>3.4 Densidad de aves.....</i>	<i>26</i>
<i>3.5 Similitud taxonómica.....</i>	<i>30</i>
<b>4. Discusión.....</b>	<b>31</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>36</b>
<b>6. Literatura citada.....</b>	<b>37</b>



## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio en el sector Noreste de la ZMCM.....	10
<b>Figura 2.</b> Tipos de transectos muestreados en la región Noreste de la ZMCM.....	13
<b>Figura 3.</b> Localización de los ecotonos muestreados en la región Noreste de la ZMCM.....	14
<b>Cuadro 1.</b> Características de hábitat de los ecotonos peri-urbanos y de los sitios de referencia muestreados.....	19
<b>Figura 4.</b> Porcentajes de coberturas de construcción de los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados en la región Noreste de la ZMCM.....	21
<b>Cuadro 2.</b> Listado de especies de aves registradas en los ecotonos peri-urbanos y sitios de referencia muestreados en la región Noreste de la ZMCM.....	22
<b>Figura 5.</b> Riqueza de especies calculada para los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados en la región Noreste de la ZMCM.....	28
<b>Figura 6.</b> Densidades calculadas para los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados en la región Noreste de la ZMCM.....	29
<b>Figura 7.</b> Dendrograma de similitud taxonómica de las comunidades de aves propias de los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados al Noreste de la ZMCM.....	30

## RESUMEN

La urbanización consiste en la intensa modificación de hábitats preexistentes en áreas funcionales para la vivienda del ser humano, generando así la fragmentación de hábitats y la extinción local de diferentes especies, lo cual puede resultar en la homogeneización de la biota a nivel local y regional. En este trabajo evalué la riqueza, densidad y similitud de las comunidades de aves que habitan en tres ecotonos peri-urbanos en una mega-ciudad. Para ello, muestreé comunidades de aves terrestres residentes en tres ecotonos peri-urbanos representativos de la región Noreste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (i.e., urbano-pastizal, urbano-matorral, urbano-cultivo). Adicionalmente, para la descripción de los tres tipos de ecotonos evaluados, medí distintos atributos relacionados con la vegetación, el nivel de urbanización y la intensidad de la actividad humana. Los resultados de este trabajo muestran que la riqueza de las comunidades de aves se ve afectada negativamente por la urbanización y por la actividad agrícola. Por su parte, la densidad de aves aumenta en áreas urbanas, mientras que en las áreas no-urbanas tiende a ser menor. Este trabajo sugiere que las comunidades de aves que habitan en las áreas no-urbanizadas no influyen en las comunidades de aves urbanas cercanas. Lo anterior puede deberse a que la zona peri-urbana funge como un filtro biológico en el que solo se ven favorecidas ciertas especies de aves tolerantes al disturbio antropogénico, propiciando así un proceso de homogeneización biótica. Finalmente, con base en los resultados obtenidos en este estudio planteo tres sugerencias para el mejoramiento y planeación de áreas urbanas con el fin de promover la riqueza de especies de aves nativas de las zonas peri-urbanas de la Ciudad de México.

## 1. INTRODUCCIÓN

Como cualquier otro organismo el hombre modifica su entorno a través de distintas acciones. Entre ellas, la urbanización es una de las formas más drásticas con la que el hombre influye en el medio que lo rodea (Vitousek *et al.* 1997, Grimm *et al.* 2000). Las ciudades son lugares provistos con las estructuras necesarias para satisfacer principalmente las necesidades de vivienda del ser humano y que se caracterizan por su alta densidad poblacional y de construcción (Niemelä 1999, Marzluff *et al.* 2001). De hecho, en la actualidad las ciudades albergan a más de la mitad de la población humana mundial (Naciones Unidas 2008). Así, la urbanización es el proceso de asentamiento de poblaciones humanas y de intensificación de la actividad antropogénica en territorios silvestres (Marzluff 2001, Iaquina y Drescher 2000) que afecta a los sistemas preexistentes en diferentes formas y escalas (Blair 1996, Vitousek *et al.* 1997, McKinney 2002). Debido a lo anterior, la urbanización es considerada como una de las principales perturbaciones antropogénicas que amenazan a la biodiversidad a nivel mundial (Vitousek *et al.* 1997, Marzluff *et al.* 2001, McKinney 2002).

Las ciudades deben ser estudiadas bajo un enfoque ecológico puesto que al igual que otros ecosistemas naturales, incluyen componentes abióticos y bióticos, ciclos biogeoquímicos, su propia organización espacio-temporal y patrones distintivos de transformación a través del tiempo (Niemelä 1999, Sukopp 2002). La ecología urbana surgió a principios del siglo XX con un enfoque sociológico y no fue hasta 1971 que el

“Programa del Hombre y la Biosfera” organizado por la UNESCO fue formalmente definida en términos ecológicos (Sukopp 2002). Actualmente, la ecología urbana estudia la interacción entre los procesos biofísicos y los fenómenos socioeconómicos que ocurren en los ambientes urbanos (Alberti *et al.* 2003). Así, esta disciplina abarca una amplia gama de temas, desde la determinación de la distribución y abundancia de las poblaciones de organismos, la contaminación del aire, patrones y procesos ocurridos dentro parches ecológicos, el efecto de borde y las interacciones de especies exóticas-nativas, hasta el balance de los nutrientes y la distribución espacial de los recursos y las poblaciones (Grimm *et al.* 2000). Los conocimientos ecológicos sobre las ciudades pueden ser integrados en planes de manejo y planeación urbana para el beneficio de la biodiversidad urbana y el aumento en la calidad de vida de la población humana (Niemelä 1999, Savard *et al.* 2000, Marzluff *et al.* 2001).

Uno de los grupos zoológicos que ha sido ampliamente estudiado en zonas urbanas es el de las aves, esto se debe a que es uno de los pocos grupos de vertebrados que forman comunidades complejas dentro de áreas urbanas, es conspicuo y responde rápidamente a los cambios en el hábitat (MacGregor-Fors *et al.* 2009). A las aves se les puede clasificar por su tolerancia a las áreas urbanizadas en tres categorías: (1) especies evasivas, (2) especies adaptables y (3) especies explotadoras urbanas (Blair 1996, Jokimäki y Suhonen 1998, McKinney 2002, Croci *et al.* 2008). Las especies evasivas generalmente son de hábitos acuáticos o arbustivos, son solitarias, migratorias, anidan en el suelo (Croci *et al.* 2008), son insectívoras (Lim y Sohdi 2004), y son más abundantes en áreas naturales (Blair 1996, McKinney 2002). Por otro lado, las especies adaptables y explotadoras urbanas comparten

varias características biológicas como: gregarismo, sedentarismo, anidamiento en árboles, amplia distribución, envergadura relativamente grande (Crocì *et al.* 2008) y hábitos omnívoros o granívoros (Beissinger y Osborne 1982, Lim y Sohdi 2004, Chace y Walsh 2006, Crocì *et al.* 2008, Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2009). Sin embargo las especies adaptables se distinguen de las explotadoras urbanas porque alcanzan máximos de abundancia únicamente en áreas con niveles moderados de urbanización (McKinney 2002). Por último, las especies explotadoras urbanas se caracterizan por ser más abundantes en áreas altamente urbanizadas y suelen anidar en cavidades rocosas y estructuras fabricadas por el hombre (McKinney 2002, Chace y Walsh 2006).

Los estudios de ecología de aves urbanas que se han desarrollado alrededor del mundo han llegado a conclusiones generales, tales como: (1) la urbanización conduce a la homogeneización taxonómica, la cual consiste en la reducción de la riqueza de especies acompañado de la dominancia de unas pocas especies en las comunidades de aves, y en ciertas ocasiones, también produce la reducción en la complejidad funcional de las mismas, puesto que la reducción de la riqueza implica la pérdida de los papeles ecológicos que cumplían dichas especies (Chace y Walsh 2006, Crocì *et al.* 2008, McKinney 2006, McKinney 2008, Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2011); (2) la cobertura y complejidad vegetal tienen un efecto positivo sobre la riqueza y la estructura de las comunidades de aves (Lim y Sohdi 2004, Chace y Walsh 2006, Husté *et al.* 2006, Evans *et al.* 2009, Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2011); (3) las características urbanas que más afectan a las aves son las construcciones, las líneas eléctricas, la actividad humana y la presencia de competidores ecológicos agresivos como el gorrión inglés (*Passer domesticus*), el cual

compite fuertemente con otras especies por recursos alimenticios y sitios de anidación en las áreas urbanas (Kalinowski 1975, Chace y Walsh 2006, MacGregor-Fors *et al.* 2010); y (4) la fragmentación del hábitat influye negativamente sobre la riqueza de las comunidades de aves (Husté y Boulinier 2007, Evans *et al.* 2009).

Debido a su diferencia con respecto a los sistemas no-urbanos adyacentes, las zonas urbanas han sido consideradas como islas ecológicas (Davis y Glick 1978, Fernández-Juricic y Jokimäki 2001, MacGregor-Fors 2010). Existe una región en la que los sistemas urbanos y los no-urbanos convergen formando ecotonos. A este tipo específico de ecotono también se le ha definido como región peri-urbana, misma que puede ser delimitada calculándose de manera sistemática midiendo la longitud de los remanentes de hábitat no-urbanizado dentro del polígono alisado de la ciudad (MacGregor-Fors 2010). Se ha observado que las comunidades de aves difieren entre las áreas urbanas, los ecotonos y las áreas no-urbanas contiguas (Clergeau *et al.* 2001, MacGregor-Fors 2010). Puesto que los ecotonos son zonas de transición, poseen un conjunto de características únicas definidas por el espacio, tiempo y por la fuerza de las interacciones que ocurren entre los ecosistemas convergentes (Holland 1987). Por lo tanto, estas características distintivas propician que los ecotonos actúen como un filtro biológico entre las áreas urbanas y los sistemas no-urbanos adyacentes (Ting y Shaolin 2008). En el caso de las aves, el filtro actúa principalmente sobre el tipo de dieta, el grado de socialización, el estado de residencia y la preferencia de hábitat que exhiben las diferentes especies (Crocini *et al.* 2008). Sin embargo, se ha encontrado que características de los hábitats peri-urbanos, como la densidad de viviendas y la cobertura arbustiva, pueden afectar la composición de sus comunidades de

aves, siendo las áreas con baja densidad de viviendas las que tienen un efecto menos dramático sobre las comunidades de aves, permitiendo mayor flujo de especies dominantes de las áreas naturales adyacentes (Hodgson *et al.* 2007). De igual manera, se han reportado máximos de abundancia en las comunidades de aves que habitan en áreas residenciales peri-urbanas (Clergeau *et al.* 1998). Aunque, en algunos estudios se han encontrado aumentos en la tasas de depredación de nidos de aves en los bordes de la ciudades (Luck *et al.* 1999, Morrison y Bolger 2002), lo cual concuerda con lo reportado para bordes que ocurren entre hábitats naturales (Paton 1994).

El estudio ecológico de las zonas peri-urbanas resulta preponderante debido al crecimiento acelerado de las ciudades (Grimm *et al.* 2000). Por lo que, dicho crecimiento expone a las poblaciones naturales a un efecto de borde aumentado (Brearley *et al.* 2011), lo cual hace significativo el estudio de los ecotonos urbanos. De igual manera, el estudio del efecto de los sistemas urbanos sobre la ecología de los organismos que habitan tanto al interior como al exterior de sus límites geográficos es de suma relevancia para guiar actividades de restauración, preservación y mejoramiento de la biodiversidad al interior de las áreas urbanas (Savard *et al.* 2000).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos que tiene el proceso de urbanización sobre las comunidades de aves que habitan en las áreas peri-urbanas de la región Noreste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y hábitats aledaños (i.e., pastizales, cultivos, matorrales).

### 1.1.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- a) Contrastar los valores de riqueza de especies y densidad de las comunidades de aves entre tres ecotonos peri-urbanos del Noreste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: (1) urbano-pastizal, (2) urbano-matorral y (3) urbano-cultivo.
- b) Comparar la composición taxonómica de las comunidades de aves presentes en los tres ecotonos peri-urbanos del Noreste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
- c) Generar recomendaciones de manejo y planeación urbana basadas en los resultados obtenidos.



## 2. MÉTODO

### 2.1 Área de estudio

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (referida como ZMCM de aquí en adelante) es la tercera zona urbana más poblada del mundo, con una población humana de 20 millones de habitantes, una tasa de crecimiento de población anual del 0.8% (INEGI 2008a, INEGI 2010) y una superficie aproximada de 1 800 km<sup>2</sup> (Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2009). La ZMCM está compuesta por 16 delegaciones pertenecientes al Distrito Federal, 59 municipios del Estado de México y un municipio del Estado de Hidalgo (López 2003). La mayor parte de la ZMCM se encuentra inmersa en la región neotropical dentro de la provincia del Eje Neovolcánico Transversal. Sin embargo, la región Noreste de la ZMCM (i.e., Acolman, Ecatepec de Morelos, Tlalnepantla de Baz, Temascalapa, Nopaltepec, Axapusco, Otumba, San Martín de las Pirámides, Teotihuacán, Tecámac, Tizayuca) corresponde a la Provincia del Altiplano Sur de la Región Neártica (CONABIO 1997). Específicamente, el área de estudio representa el 5% de la superficie de la ZMCM y se encuentra inmersa en la región Noreste de la ZMCM abarcando tres municipios del Estado de México: Tlalnepantla de Baz (sección Oriente), Ecatepec de Morelos y Tecámac (Fig. 1).

La orografía del área de estudio puede considerarse simple, puesto que la mayor parte de su superficie está compuesta por una llanura que colinda al Suroeste con la Sierra de Guadalupe (INEGI 2009). Mientras que los tipos de vegetación predominantes del área de estudio son el pastizal y el matorral xerófilo (Rzedowski 1988, CONABIO 1997). Los

pastizales son comunidades vegetales dominadas por gramíneas, que predominan en zonas planas o ligeramente onduladas y que corresponden a climas semiáridos (Rzedowski 1988). En el área de estudio, el pastizal abarca el 6% del territorio (INEGI 2009) y en él se desarrollan actividades pecuarias. El matorral xerófilo presente en el área de estudio es un tipo de vegetación de porte arbustivo propio de zonas áridas y semiáridas dominado por Palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* Ortega; Rzedowski 1988) y ocupa un 3.2% de la superficie total del área de estudio (INEGI 2009).

Los campos de cultivo y las áreas urbanas ocupan una gran parte del área de estudio. La producción agrícola abarca el 24% de la superficie total, es estacional casi en su totalidad, se desarrolla principalmente sobre las planicies y pendientes de algunos cerros, y consta mayormente de maíz, frijol y avena (INEGI 2008b, INEGI 2009). Por otra parte, la superficie urbanizada del área de estudio corresponde a más de la mitad de su territorio (66%; INEGI 2009) (Fig. 1), concentrándose en las zonas que se encuentran más cercanas al Distrito Federal (INEGI 2009). Las áreas urbanas están formadas por construcciones destinadas a la vivienda, al comercio, a los servicios y a la industria, siendo las áreas habitacionales las predominantes en superficie (SDUEM 2003, SDUEM 2009).

Los muestreos los realice específicamente en la región peri-urbana del área de estudio. Considere a la región peri-urbana como la zona en la que se entremezclan la matriz urbana con los sistemas adyacentes y en la cual se encuentra el límite del polígono del área urbanizada (MacGregor-Fors 2010).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en el sector Noreste de la ZMCM. El área de estudio comprende tres Municipios del Estado de México: Tlalnepantla de Baz (sección Oriente), Ecataepec de Morelos y Tecámac.

## 2.2 Caracterización del hábitat

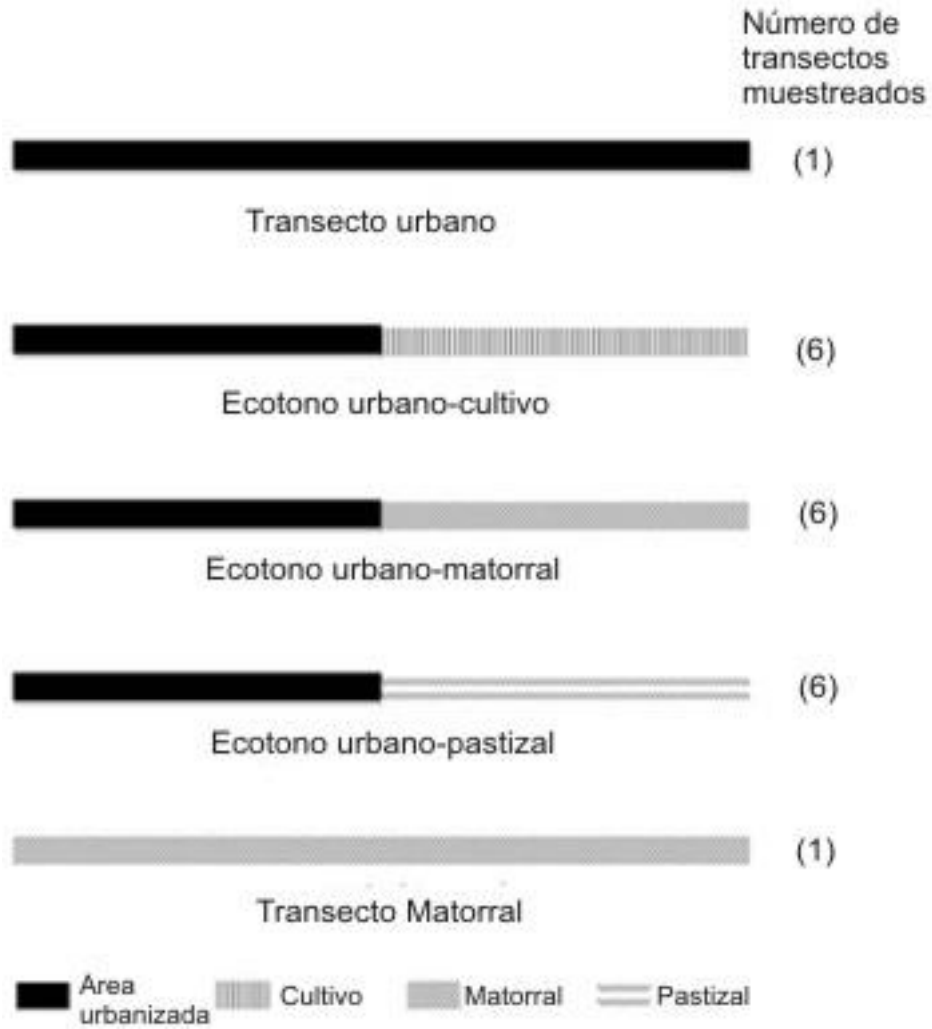
Para determinar la similitud en relación con las características de hábitat de los componentes de los ecotonos peri-urbanos (i.e., componente urbano, cultivo, matorral, pastizal) de la región Noreste de la ZMCM, en cada punto de conteo evalué 11 características de hábitat que medí dentro de un radio de 25 m (1963.5 m<sup>2</sup>). La evaluación de esta área permite describir adecuadamente el hábitat en el que la mayoría de los individuos de aves son registrados (Ralph *et al.* 1996). Del total de características medidas, siete describen la vegetación, dos la actividad antropogénica y dos la infraestructura urbana de cada punto. Las variables medidas fueron: (1) número de estratos vegetales, (2) riqueza de especies por estrato vegetal, (3) cobertura de cada estrato vegetal, (4) altura máxima de cada estrato de la vegetación, (5) altura mínima de cada estrato de la vegetación, (6) valor máximo del diámetro a la altura del pecho (DAP) arbóreo, (7) valor mínimo del diámetro a la altura del pecho (DAP) arbóreo, (8) número de transeúntes por minuto, (9) número de automóviles por minuto, (10) cobertura de construcciones, y (11) altura máxima y mínima de las edificaciones.

## 2.3 Muestreo de aves

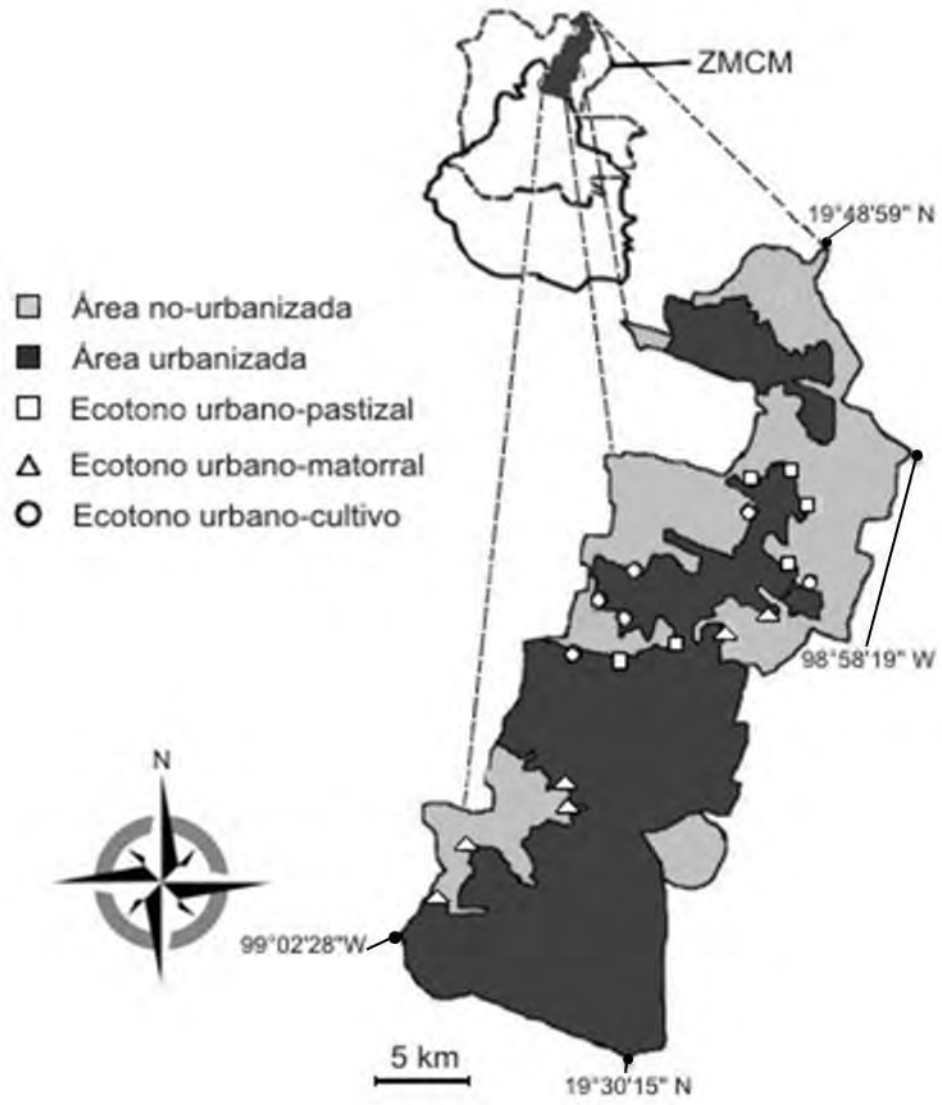
Para el muestreo de aves utilicé el método de puntos de conteo de radio indefinido (Ralph *et al.* 1996). La duración de los conteos fue de 5 min para evitar contar repetidamente al mismo individuo (Ralph *et al.* 1996). Los datos que registré durante el muestreo de aves fueron: (1) especie, (2) número de individuos y (3) distancia radial a la que se encontraban los individuos observados y escuchados (distancia medida con un telémetro láser Bushnell

Yardage Pro Sport 450). Los muestreos los realicé durante el mes de julio de 2010 con el objetivo de evaluar a las comunidades de aves residentes. Específicamente, los conteos los realicé de 7:00 a 11:00 hrs. La identificación de las especies de aves la realicé usando guías especializadas (Howell y Webb 1995, Dunn y Alderfer 2006).

Con la finalidad de evaluar el efecto del proceso de urbanización sobre las comunidades de aves en áreas peri-urbanas, comparé las comunidades de aves presentes en tres tipos de ecotonos peri-urbanos: (1) urbano-pastizal, (2) urbano-matorral y (3) urbano-cultivo. Para muestrear cada tipo de ecotono, ubiqué transectos de 10 puntos de conteo cada uno, de los cuales, cinco puntos estuvieron dentro de los componentes urbanos y cinco en los componentes no-urbanos (i.e., pastizal, matorral, cultivo; Fig. 2). Para obtener una muestra representativa de los sitios muestreados, muestreé seis diferentes transectos por cada tipo de ecotono peri-urbano estudiado, para un total de 18 transectos muestreados (Fig. 3). Con el objetivo de comparar las comunidades de aves registradas en los ecotonos peri-urbanos con aquellas presentes en hábitats intra-urbanos (matriz urbana) y hábitats representativos de las condiciones previas al disturbio urbano, adicionalmente realicé 15 puntos de conteo, en el centro de la ciudad y 15 en matorrales conservados (sitios de referencia). De esta forma muestreé un total de 210 puntos de conteo. Los puntos de conteo estuvieron separados entre sí por una distancia mínima de 250 m para asegurar la independencia de los datos recabados (Ralph *et al.* 1996, Huff *et al.* 2000).



**Figura 2.** Tipos de transectos muestreados en la región Noreste de la ZMCM.



**Figura 3.** Localización de los ecotonos muestreados en la región Noreste de la ZMCM (véase Fig. 1 para ubicación).

## 2.4 Análisis de datos

*Riqueza de especies.* Para comparar la riqueza de especies de aves entre los ecotonos peri-urbanos y los sitios de referencia utilicé un análisis de rarefacción, el cual permite la comparación estadística de la riqueza específica de diferentes comunidades de aves aún cuando el tamaño de la muestra es diferente (Moreno 2001). Para el caso de los ecotonos peri-urbanos, utilizando el programa EstimateS 8.2 (Colwell 2009) calculé la riqueza de aves para los diferentes componentes del ecotono en cada punto de conteo muestreado, con la finalidad de evaluar la variación de la riqueza con respecto a la distancia del borde. Igualmente, calculé la riqueza de especies para cada sitio de referencia (i.e., sitio intra-urbano, matorral conservado) con la finalidad de comparar sus valores con aquellos de los ecotonos peri-urbanos. Asumí diferencias significativas ( $\alpha < 0.01$ ) entre los valores de riqueza de especies calculados sólo cuando sus intervalos de confianza no se sobrelaparon (Payton *et al.* 2003).

*Densidad de aves.* Para estimar la densidad de aves en los ecotonos peri-urbanos y en los sitios de referencia utilicé el programa Distance 6.0 (Thomas *et al.* 2009), el cual estima el número de individuos por unidad de área por medio del cálculo de la probabilidad de detección de individuos y la estandarización del número de detecciones a lo largo de las distancias concéntricas observadas (Buckland *et al.* 2001). Para los ecotonos peri-urbanos, calculé la densidad de aves para cada componente de ecotono en cada punto a lo largo del ecotono muestreado. De igual manera, calculé la densidad para cada sitio de referencia con el propósito de compararla con aquella de los ecotonos. Asumí diferencias significativas



( $\alpha < 0.01$ ) entre los valores de riqueza de especies calculadas sólo cuando sus intervalos de confianza no se sobrelaparon (Payton *et al.* 2003).

*Composición taxonómica de las comunidades de aves.* Para comparar la similitud de la composición taxonómica de las comunidades de aves entre los componentes urbanos y los no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos estudiados, llevé a cabo de un análisis multivariado de agrupaciones de Bray-Curtis basado en abundancias utilizando la plataforma BioDiversityPro (McAleece 1997). El análisis de Bray-Curtis calcula la proporción de similitud de acuerdo a la abundancia de especies por sitio y los agrupa posteriormente en un dendrograma (Bray y Curtis 1957).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Caracterización del hábitat

Los componentes de los ecotonos peri-urbanos de la región Noreste de la ZMCM exhibieron diferencias en relación con sus características de hábitat. De las distintas características medidas, la cobertura de construcción fue el atributo que marcó la diferencia entre los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos (Cuadro 1; Fig. 4). En general, los componentes urbanos de los diferentes ecotonos muestreados exhibieron coberturas de construcción elevadas (>75% de cobertura) respecto a los componentes no-urbanos (i.e., cultivo, matorral y pastizal). El porcentaje de construcción entre los componentes urbanos y no-urbanos fue consistentemente diferente en todos los transectos de los tres tipos de ecotonos evaluados (Fig. 4).

#### 3.2 Muestreo de aves

Durante el muestreo registré un total de 43 especies de aves residentes, pertenecientes a 42 géneros, 22 familias y seis órdenes de acuerdo con la taxonomía propuesta por la Unión de Ornólogos Americanos (AOU) hasta su último suplemento (Cuadro 2; Chesser *et al.* 2011). Del total de especies registradas, tres son exóticas (Álvarez-Romero *et al.* 2008), una es cuasi-endémica (González-García y Gómez da Silva 2003) y una está considerada en la categoría de Protección Especial de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010

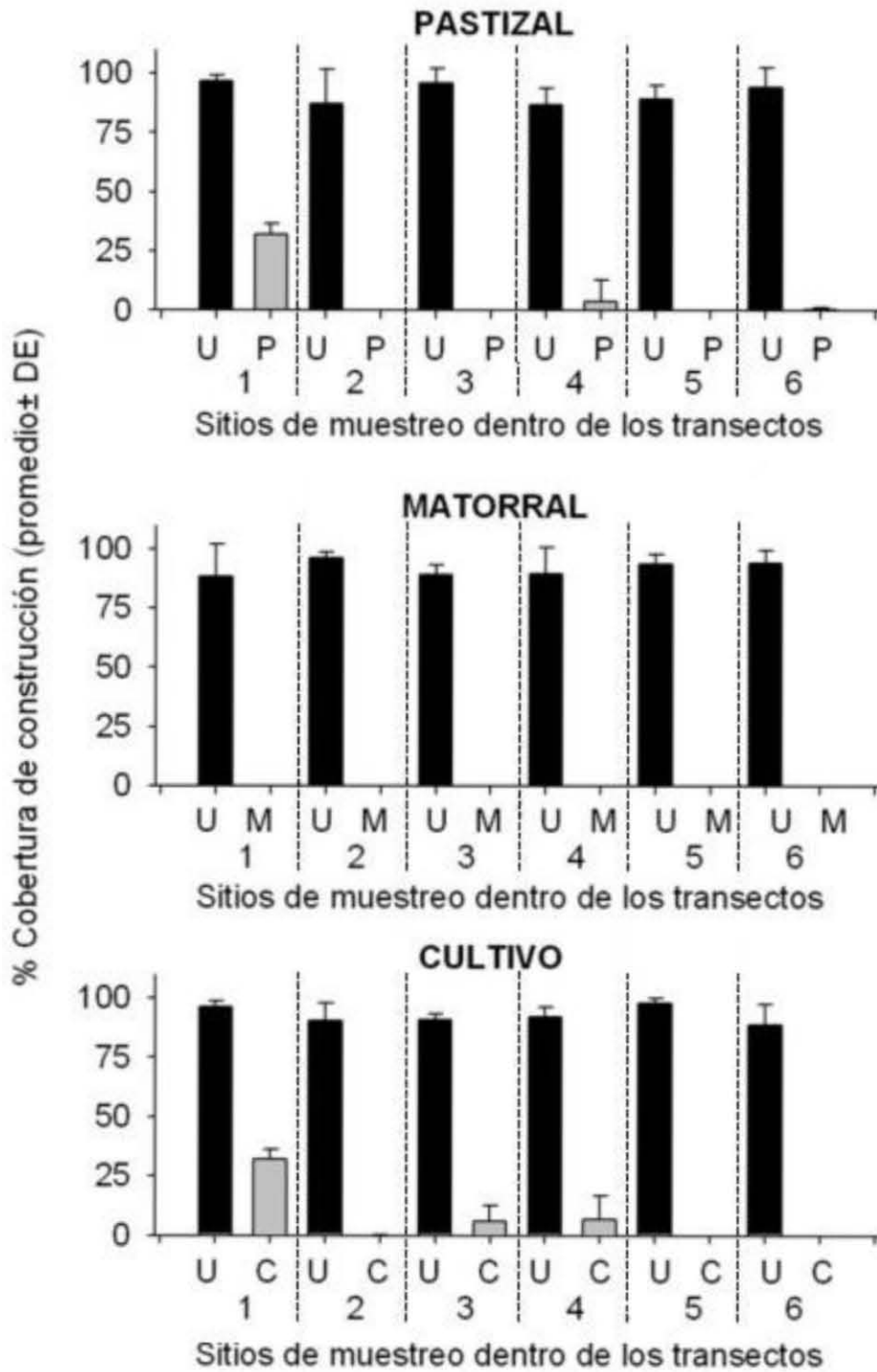
(SEMARNAT 2010). Ninguna de las especies observadas está considerada como amenazada a nivel mundial (IUCN 2010; Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Características de hábitat de los ecotonos peri-urbanos y de los sitios de referencia muestreados (promedio  $\pm$  DE).

Características de hábitat	Ecotonos						Referencias	
	Urbano-cultivo		Urbano-pastizal		Urbano-matorral		Urbano	Matorral
	Urbano	Cultivo	Urbano	Pastizal	Urbano	Matorral		
Núm. de estratos	2.7 $\pm$ 0.6	2.5 $\pm$ 0.5	2.5 $\pm$ 0.7	2.3 $\pm$ 0.6	2.5 $\pm$ 0.7	2.9 $\pm$ 0.3	2.8 $\pm$ 0.4	3 $\pm$ 0
Riqueza herbácea	2.9 $\pm$ 1.1	4.6 $\pm$ 1.35	3.26 $\pm$ 1.46	5.5 $\pm$ 2.5	4.5 $\pm$ 1.3	7.5 $\pm$ 2.0	5.2 $\pm$ 2.7	6.9 $\pm$ 2.2
Cober. herbácea (%)	3.8 $\pm$ 3.6	40.6 $\pm$ 20.8	4.5 $\pm$ 4.8	56.6 $\pm$ 28.2	3.4 $\pm$ 3.6	53.6 $\pm$ 23.3	0.4 $\pm$ 1.1	42.5 $\pm$ 17.7
Alt. máx. herbácea (m)	0.3 $\pm$ 0.15	0.4 $\pm$ 0.1	0.3 $\pm$ 0.16	0.4 $\pm$ 0.1	0.4 $\pm$ 0.1	0.45 $\pm$ 0.04	0.3 $\pm$ 0.2	0.5 $\pm$ 0.04
Alt. mín. herbácea (m)	0.03 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.02	0.03 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.02	0.03 $\pm$ 0.02	0.02 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.03	0.03 $\pm$ 0.01
Riqueza arbustiva	2.0 $\pm$ 1.6	4.5 $\pm$ 1.5	2.2 $\pm$ 1.9	3.7 $\pm$ 2.35	3.4 $\pm$ 3.1	4.8 $\pm$ 2.0	2.1 $\pm$ 1.6	6.7 $\pm$ 2.5
Cobertura arbustiva (%)	1.9 $\pm$ 3.2	40.7 $\pm$ 18.7	1.9 $\pm$ 3.2	28.3 $\pm$ 18.7	2.9 $\pm$ 4.1	34.5 $\pm$ 19.4	0.4 $\pm$ 1.2	33.7 $\pm$ 19.9
Alt. máx. arbustiva (m)	1.5 $\pm$ 1.05	1.9 $\pm$ 0.7	1.4 $\pm$ 1.0	1.2 $\pm$ 0.8	4.4 $\pm$ 16.6	2.0 $\pm$ 0.6	1.7 $\pm$ 0.95	2.4 $\pm$ 0.3
Alt. mín. arbustiva (m)	0.7 $\pm$ 0.5	2.7 $\pm$ 11.75	0.5 $\pm$ 0.4	0.2 $\pm$ 0.5	0.6 $\pm$ 0.4	0.6 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.5	0.5 $\pm$ 0.1
Riqueza arbórea	2.0 $\pm$ 1.5	0.7 $\pm$ 0.8	2.1 $\pm$ 1.9	0.4 $\pm$ 0.6	1.9 $\pm$ 1.9	1.7 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 1.7	2.9 $\pm$ 1.0
Cober. arbórea (%)	1.4 $\pm$ 1.3	6.6 $\pm$ 11.3	1.8 $\pm$ 2.7	2.5 $\pm$ 4.9	1.9 $\pm$ 2.65	10.3 $\pm$ 13.35	0.25 $\pm$ 0.2	19.3 $\pm$ 6.5
Alt. máx. arbórea (m)	8.1 $\pm$ 5.5	4.2 $\pm$ 5.0	7.6 $\pm$ 4.9	3.5 $\pm$ 5.0	5.9 $\pm$ 5.4	6.8 $\pm$ 4.25	11.5 $\pm$ 5.2	15.15 $\pm$ 5.1
Alt. mín. arb. (m)	3.75 $\pm$ 2.6	2.7 $\pm$ 2.55	3.6 $\pm$ 2.5	2.0 $\pm$ 2.9	3.1 $\pm$ 2.5	4.0 $\pm$ 1.9	6.2 $\pm$ 2.9	3.6 $\pm$ 0.5
DAP máx. arb. (cm)	143.7 $\pm$ 135.9	81.1 $\pm$ 122.4	98.7 $\pm$ 83.5	98.9 $\pm$ 151.7	63.0 $\pm$ 58.1	135.6 $\pm$ 99.1	145.5 $\pm$ 76.75	122.3 $\pm$ 49.7
DAP mín. arb. (cm)	55 $\pm$ 84.2	30.3 $\pm$ 50.1	39.2 $\pm$ 36.7	46.3 $\pm$ 108.4	25.9 $\pm$ 28.7	45.2 $\pm$ 38.4	48.2 $\pm$ 33.1	16.4 $\pm$ 6.15
Cobertura de Constr. (%)	92.8 $\pm$ 5.9	7.5 $\pm$ 12.4	91.6 $\pm$ 8.4	6.1 $\pm$ 12.45	91.7 $\pm$ 7.9	0 $\pm$ 0	98.6 $\pm$ 2.5	1.2 $\pm$ 3.1
Alt. máx. de edifi. (m)	5.8 $\pm$ 2.8	0.2 $\pm$ 0.7	5.9 $\pm$ 2.5	0 $\pm$ 0	6.3 $\pm$ 2.5	0 $\pm$ 0	15.6 $\pm$ 7.4	0 $\pm$ 0
Alt. mín. de edif. (m)	3.2 $\pm$ 1.9	0.1 $\pm$ 0.6	2.8 $\pm$ 0.9	0 $\pm$ 0	2.9 $\pm$ 1.2	0 $\pm$ 0	8.9 $\pm$ 7.6	0 $\pm$ 0
Transeúntes/min	3.5 $\pm$ 3.7	0.3 $\pm$ 0.8	5.2 $\pm$ 4.4	0.2 $\pm$ 0.5	6.6 $\pm$ 12.6	0.5 $\pm$ 1.1	22.5 $\pm$ 62.6	1.3 $\pm$ 3.12

**Cuadro 1.** (Continuación)

<b>Características de hábitat</b>	<b>Ecotonos</b>						<b>Referencias</b>	
	<b>Urbano-cultivo</b>		<b>Urbano-pastizal</b>		<b>Urbano-matorral</b>		<b>Urbano</b>	<b>Matorral</b>
	<b>Urbano</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Urbano</b>	<b>Pastizal</b>	<b>Urbano</b>	<b>Matorral</b>		
Automóviles/min	13.2±20.7	0.7±1.9	5.8±5.4	0.2±1.1	4.7±8.05	0.1±0.6	33±14.2	0±



**Figura 4.** Porcentajes de coberturas de construcción de los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados en la región Noreste de la ZMCM (promedio  $\pm$  DE). U= urbano, P= pastizal, M= matorral, C= cultivo.

**Cuadro 2.** Listado de especies de aves registradas en los ecotonos peri-urbanos y sitios de referencia muestreados en la región Noreste de la ZMCM.

Especie	Ecotonos						Referencia	
	Urbano-cultivo		Urbano-pastizal		Urbano-matorral			
	Urbano	Cultivo	Urbano	Pastizal	Urbano	Matorral	Urbano	Matorral
<b>CHARADRIIFORMES</b>								
<b>Charadriidae</b>								
<i>Charadrius vociferus</i>								•
<b>COLUMBIFORMES</b>								
<b>Columbidae</b>								
<i>Columba livia</i> <sup>E</sup>	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Zenaida macroura</i>	•	•		•		•		
<i>Columbina inca</i>	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>STRIGIFORMES</b>								
<b>Strigidae</b>								
<i>Athene cunicularia</i> <sup>P</sup>				•				
<b>APODIFORMES</b>								
<b>Trochilidae</b>								
<i>Colibri thalassinus</i>							•	
<i>Cyananthus latirostris</i>	•		•		•	•		•

**Cuadro 2.** (Continuación)

Especie	Ecotonos						Referencia	
	Urbano-cultivo		Urbano-pastizal		Urbano-matorral			
	Urbano	Cultivo	Urbano	Pastizal	Urbano	Matorral	Urbano	Matorral
<i>Amazilia beryllina</i>						•	•	
<i>Lampornis clemenciae</i>					•			•
<i>Eugenes fulgens</i>								•
<b>PICIFORMES</b>								
<b>Picidae</b>								
<i>Picoides scalaris</i>						•		•
<b>PASSERIFORMES</b>								
<b>Tyrannidae</b>								
<i>Contopus pertinax</i>								•
<i>Contopus sordidulus</i>				•				
<i>Sayornis saya</i>						•		
<i>Pyrocephalus rubinus</i>		•		•		•		•
<i>Tyrannus vociferans</i>								•
<b>Laniidae</b>								
<i>Lanius ludovicianus</i>		•		•		•		
<b>Vireonidae</b>								
<i>Vireo plumbeus</i>						•		
<b>Corvidae</b>								
<i>Aphelocoma californica</i>		•		•		•		



Cuadro 2. (Continuación)

Especie	Ecotonos						Referencia	
	Urbano-cultivo		Urbano-pastizal		Urbano-matorral			
	Urbano	Cultivo	Urbano	Pastizal	Urbano	Matorral	Urbano	Matorral
<b>Hirundinidae</b>								
<i>Hirundo rustica</i>	•	•	•	•	•	•	•	•
<b>Sittidae</b>								
<i>Sitta carolinensis</i>						•		
<b>Troglodytidae</b>								
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>		•		•	•	•		•
<i>Thryomanes bewickii</i>						•		•
<b>Poliophtilidae</b>								
<i>Poliophtila</i> sp.		•	•			•		
<b>Turdidae</b>								
<i>Catharus aurantiirostris</i>								•
<i>Turdus rufopalliatus</i>						•		•
<b>Mimidae</b>								
<i>Mimus polyglottos</i>	•							
<i>Toxostoma curvirostre</i>	•	•		•		•		•
<b>Sturnidae</b>								
<i>Sturnus vulgaris</i> <sup>E</sup>		•	•	•				
<b>Parulidae</b>								
<i>Geothlypis trichas</i>				•				•
<i>Basileuterus rufifrons</i> *						•		•

Cuadro 2. (Continuación)

Especie	Ecotonos						Referencia	
	Urbano-cultivo		Urbano-pastizal		Urbano-matorral			
	Urbano	Cultivo	Urbano	Pastizal	Urbano	Matorral	Urbano	Matorral
<b>Emberizidae</b>								
<i>Aimophila ruficeps</i>								•
<i>Melospiza fusca</i>	•	•	•	•	•	•		•
<i>Spizella atrogularis</i>					•	•		•
<b>Cardinalidae</b>								
<i>Passerina caerulea</i>		•		•		•		•
<b>Icteridae</b>								
<i>Agelaius phoeniceus</i>		•		•				
<i>Sturnella magna</i>		•		•		•		
<i>Quiscalus mexicanus</i>	•	•	•	•	•	•		
<i>Molothrus aeneus</i>	•	•	•	•	•	•		•
<i>Icterus wagleri</i>						•		
<b>Fringillidae</b>								
<i>Carpodacus mexicanus</i>	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Spinus psaltria</i>	•	•	•	•	•	•		•
<b>Passeridae</b>								
<i>Passer domesticus</i> <sup>E</sup>	•	•	•	•	•	•	•	

**Endemismos:** \* = especie cuasi-endémica de México.

**Categoría de riesgo:** <sup>P</sup> = Protección especial.

**Origen:** <sup>E</sup> = especie exótica.

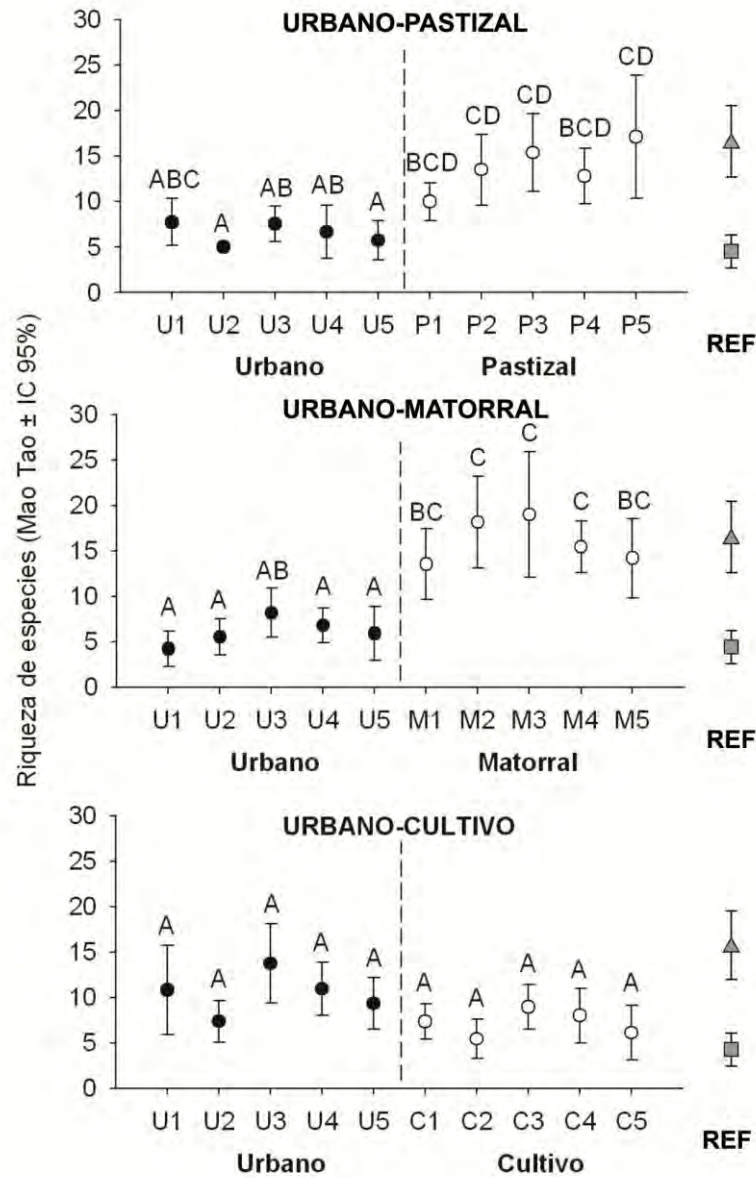
### 3.3 Riqueza de especies

De acuerdo con los análisis de rarefacción, la riqueza de especies varió entre los componentes urbanos y no-urbanos dependiendo del tipo de ecotono peri-urbano en cuestión. Los resultados mostraron que para el caso de los ecotonos urbano-pastizal y urbano-matorral, la riqueza de especies tendió a ser mayor en los componentes no-urbanos que en los componentes urbanos del ecotono (Fig. 5). Asimismo, los componentes urbanos de los ecotonos urbano-pastizal y urbano-matorral fueron más similares con respecto a los sitios intra-urbanos de referencia, mientras que los puntos no-urbanos mostraron riquezas de especies más parecidas a los matorrales conservados. Además, la riqueza de los componentes no-urbanos de dichos ecotonos (i.e., urbano-pastizal, urbano-matorral) muestra un patrón creciente en tanto aumenta la distancia al borde. Contrariamente, los resultados obtenidos para el ecotono urbano-cultivo indicaron que no existen diferencias significativas entre las riquezas de especies del componente urbano y el no-urbano del ecotono (Fig. 5). Incluso, el componente no-urbano del ecotono (i.e., cultivo) presentó una riqueza de especies mayormente similar al sitio de referencia intra-urbano que al matorral conservado.

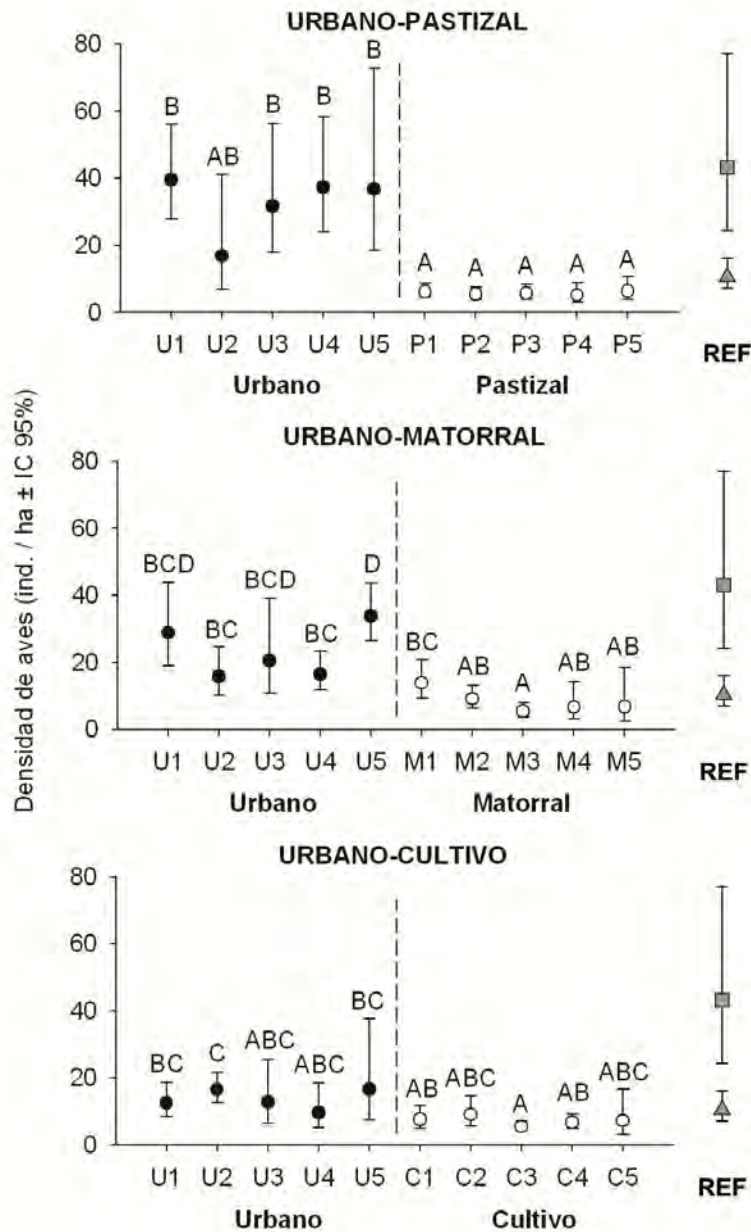
### 3.4 Densidad de aves

Los resultados de las densidades de los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos difirieron de aquellos obtenidos para la riqueza de especies. Para el ecotono urbano-pastizal, las densidades calculadas resultaron ser mayores para el componente

urbano, mientras que el componente no-urbano presentó densidades menores (Fig. 6). De hecho, las densidades del componente urbano fueron más parecidas con respecto a aquellos del sitio de referencia intra-urbano, mientras que las densidades del componente no-urbano fueron más similares a las del matorral conservado. En el ecotono urbano-matorral, no encontré diferencias significativas evidentes entre las densidades del componente urbano y las del no-urbano, sin embargo las densidades del componente no-urbano tendieron a ser más similares a aquellas del matorral conservado que con respecto a las del sitio intra-urbano (Fig. 5). En el caso del ecotono urbano-cultivo, no registré diferencias significativas entre las densidades de los componentes urbanos y no-urbanos del ecotono. Incluso, las densidades de ambos componentes tendieron a ser más bajas, por lo que resultaron ser más similares con respecto a aquellas del matorral conservado.



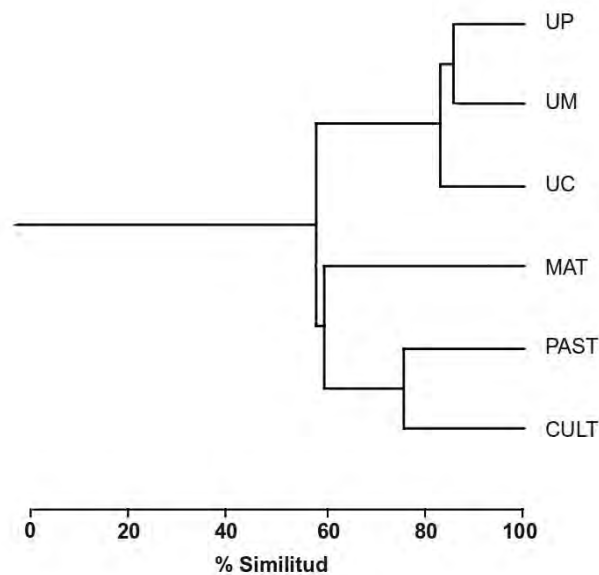
**Figura 5.** Riqueza de especies calculada para los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados en la región Noreste de la ZMCM (Mao Tao  $\pm$  IC95%). Las riquezas fueron calculadas para los cinco puntos de conteo de cada uno de los componentes del ecotono. Las letras sobre las riquezas de especies calculadas denotan diferencias significativas entre los valores calculados. U = urbano, P = pastizal, M = matorral, C = cultivo, REF = referencias,  $\blacktriangle$  = riqueza calculada en el hábitat matorral de referencia;  $\blacksquare$  = riqueza calculada en el sitio urbano de referencia.



**Figura 6.** Densidades calculadas para los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados en la región Noreste de la ZMCM (ind/ha± IC95%). Las densidades fueron calculadas para cada uno de los componentes del ecotono en cinco puntos para cada componente. Las letras sobre las densidades denotan diferencias significativas entre valores calculados. U= urbano, P= pastizal, M= matorral, C= cultivo, REF= referencias,  $\Delta$  = densidad calculada en el hábitat matorral de referencia;  $\blacksquare$  = densidad calculada en el sitio urbano de referencia.

### 3.5 Similitud taxonómica

El análisis multivariado de agrupaciones de Bray-Curtis mostró que los componentes urbanos de los tres ecotonos peri-urbanos estudiados mostraron un mayor porcentaje de similitud taxonómica entre ellos mismos que con respecto a sus componentes no-urbanos adyacentes (Fig. 7). Particularmente, los componentes urbanos de los ecotonos urbano-pastizal y urbano-matorral resultaron ser más similares entre sí, desde una perspectiva taxonómica, seguidos por el componente urbano del ecotono urbano-cultivo. Por otra parte, los componentes no-urbanos, representados por los cultivos y los pastizales, fueron taxonómicamente más parecidos, seguidos por el componente matorral (Fig. 7).



**Figura 7.** Dendrograma de similitud taxonómica de las comunidades de aves propias de los componentes urbanos y no-urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados al Noreste de la ZMCM. UP= componente urbano del ecotono urbano-pastizal, UM= componente urbano del ecotono urbano-matorral, UC= componente urbano del ecotono urbano-cultivo, MAT= matorral del ecotono urbano-matorral, PAST= pastizal del ecotono urbano-pastizal, CULT= cultivo del ecotono urbano-cultivo.

#### 4. DISCUSIÓN

De manera general, los resultados de este trabajo mostraron que los componentes no-urbanos de los ecotonos urbano-pastizal y urbano-matorral favorecen la riqueza de especies en las comunidades de aves de la región Noreste de la ZMCM. Por otra parte, las densidades tuvieron un comportamiento opuesto en los ecotonos urbano-pastizal y urbano-matorral, puesto que los componentes urbanos de los tres ecotonos exhibieron altos valores de densidad en comparación de los componentes no-urbanos. Especialmente el componente cultivo del tercer ecotono mostró no favorecer a la riqueza ni a la densidad de las comunidades de aves. El análisis de similitud taxonómica denotó que los componentes de los tres ecotonos estudiados se agrupan en dos partes, urbanos y no-urbanos.

Con respecto a la riqueza de especies, los resultados de este trabajo muestran que el número de especies de aves varía entre los diferentes componentes de los ecotonos peri-urbanos muestreados. De manera específica, los componentes urbanos de los ecotonos urbano-pastizal y urbano-matorral fueron desfavorables para la riqueza de especies, lo cual pudo deberse a que el alto desarrollo urbano que exhiben estos componentes reducen la cantidad de recursos disponibles para las aves (Blair 1996), generando un efecto de filtro biológico que restringe la presencia de numerosas especies de aves en las áreas urbanizadas (Crocì *et al.* 2008, MacGregor-Fors y Ortega-Álvarez 2011). Por el contrario, los componentes no-urbanos de los ecotonos urbano-matorral y urbano-pastizal presentaron una menor variación del número de especies con respecto al matorral de referencia. En estos componentes no-urbanos (i.e., matorral, pastizal), el porcentaje de cobertura de



construcción y la actividad humana exhibieron valores bajos, mientras que la cobertura herbácea y arbustiva fue elevada. De esta forma, la alta complejidad de la vegetación, la baja superficie construida y los bajos niveles de perturbación antropogénica, pudieron favorecer que un número mayor de especies aprovechara los recursos ofrecidos por estos componentes (Beissinger y Osborne 1982, Blair 1996, Chace y Walsh 2006, Evans *et al.* 2009, Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2011). De manera particular, entre los componentes no-urbanos de los ecotonos, los cultivos exhibieron los valores de riqueza de especies más bajos, presentando valores de riqueza similares a aquellos de sitios urbanos adyacentes y al del sitio intra-urbano de referencia. Este patrón puede deberse a que los cultivos estudiados son hábitats homogéneos que están integrados por una sola especie vegetal (i.e., maíz - *Zea mays*), lo cual genera una disminución en la variedad de los recursos disponibles para las especies de aves (Benton *et al.* 2003). Igualmente, los cultivos muestreados están sujetos a un manejo intenso y frecuente, lo cual también podría ejercer un efecto negativo sobre la riqueza de especies de aves (Tjallingli 2000, Shwartz *et al.* 2008).

Los resultados de densidad de las comunidades de aves mostraron un patrón opuesto al de la riqueza. En general, los componentes urbanos de los ecotonos peri-urbanos presentaron densidades altas y similares a la densidad del sitio intra-urbano de referencia, mientras que las densidades de los componentes no-urbanos de los ecotonos fueron similares a la densidad del matorral de referencia. Dicho patrón concuerda con lo observado por numerosos estudios sobre ecología urbana de aves, en los que se ha detectado un incremento en la abundancia de aves ante niveles de desarrollo urbano

elevados debido a que en este tipo de áreas se presenta una alta disponibilidad de alimentos proporcionados por el ser humano y un bajo riesgo de depredación (Beissinger y Osborne 1982, Clergeau *et al.* 2001, Shochat 2004, Chace y Walsh 2006). De manera específica, el incremento en la densidad de aves se debe al éxito de especies explotadoras urbanas presentes en los componentes urbanos de los ecotonos peri-urbanos muestreados, tales como el gorrión inglés (*Passer domesticus*), la paloma doméstica (*Columba livia*) y la tórtola común (*Columbina inca*) (Emlen 1974, Beissinger y Osborne 1982, Nosedal 1987, McKinney 2002, Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2009). Contrastantemente, en el caso del ecotono urbano-cultivo, las densidades de sus dos componentes no se diferenciaron significativamente entre sí. Lo anterior sugiere que los cultivos podrían estar influyendo sobre la densidad de las comunidades de aves del componente urbano del ecotono, especialmente sobre las especies explotadoras urbanas. De hecho, mientras que el gorrión mexicano (*Carpodacus mexicanus*) y la golondrina tijereta (*Hirundo rustica*) (especies explotadoras urbanas) fueron más abundantes en los componentes urbanos que en los componentes no-urbanos de los ecotonos urbano-matorral y urbano-pastizal, en el ecotono urbano-cultivo sus abundancias fueron mayores en el componente no-urbano (i.e., cultivo) que en el urbano. Esto pudo deberse a que dichas especies se benefician de los recursos ofrecidos por los cultivos al presentar hábitos granívoros e insectívoros respectivamente (Beecher *et al.* 2002).

El análisis de similitud taxonómica mostró que las comunidades de aves presentes en los componentes urbanos de los ecotonos peri-urbanos no están necesariamente influenciadas por las comunidades de aves de los componentes no-urbanos adyacentes.

Así, los componentes urbanos de los tres ecotonos peri-urbanos estudiados presentaron los valores de similitud más altos, lo cual puede deberse a que el incremento en los niveles de desarrollo urbano actúa como agente homogeneizador de la biodiversidad (McKinney y Lockwood 2001, Crooks *et al.* 2004, van Rensburg *et al.* 2009, Vilisics y Hornung 2009), de tal manera que las áreas urbanas favorecen de manera específica a unas cuantas especies de aves tolerantes a las condiciones que se presentan dichas áreas (McKinney 2002, Croci *et al.* 2008, Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2009) y excluyen al resto de las especies por carecer de un conjunto de atributos biológicos favorables a dichas condiciones, sin importar su hábitat de origen, aún cuando sea contiguo al urbano. Por su parte, la alta similitud taxonómica que exhiben los componentes no-urbanos puede deberse a la mayor complejidad de sus estructuras vegetales y a la presencia disminuida de atributos y disturbios urbanos, condiciones que favorecen la presencia de especies de aves sensibles a la urbanización e inhiben el éxito de especies explotadoras urbanas (Beissinger y Osborne 1982, Clergeau *et al.* 2001, Chace y Walsh 2006, Croci *et al.* 2008). De manera específica, los componentes no-urbanos que presentaron mayor similitud taxonómica entre sí fueron los cultivos y los pastizales. Esto puede deberse a que tanto los cultivos como los pastizales están sujetos a mayores niveles de disturbio antropogénico debidos a su aprovechamiento agropecuario (i.e. agrícola, ganadero), lo cual afecta negativamente su estructura vegetal y por ende disminuye su capacidad de alojar un mayor número de especies de aves sensibles a las perturbaciones antropogénicas (Beissinger y Osborne 1982, Chace y Walsh 2006, Evans *et al.* 2009).

Los resultados de este trabajo mostraron efectos contrastantes entre la riqueza y la densidad en relación con la distancia al borde. En tanto que la riqueza de especies de los componentes no-urbanos presentó un patrón creciente mientras la distancia al borde aumentó, la densidad no mostró un comportamiento común a la riqueza con respecto a la distancia. El patrón que presentó la riqueza se puede explicar por el efecto de filtro biológico que poseen las áreas urbanas y que no guarda relación con los sistemas contiguos, limitando así que algunas especies de aves se aventuren al interior de las áreas urbanas (Clergeau *et al.* 2001, Croci *et al.* 2008, MacGregor-Fors 2010, MacGregor-Fors y Ortega-Álvarez 2011). Dicho filtro biológico también puede tener efecto sobre la densidad. Puesto que los componentes urbanos muestreados contrastan fuertemente con los no-urbanos, independientemente de la distancia al borde, el componente urbano favorece intensamente a las aves explotadoras urbanas aumentando drásticamente la densidad en estos hábitats.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo sugieren que las áreas urbanas son un importante filtro biológico que disminuye la riqueza de especies y fomenta la homogeneización taxonómica de las comunidades de aves. Basándome en los resultados de este trabajo, sugiero tres actividades de mejoramiento y planeación de áreas urbanas enfocadas a disminuir el efecto negativo que ejerce la urbanización sobre las comunidades de aves de la región Noreste y de otras zonas peri-urbanas de la ZMCM:

- 1) Reducir el fuerte contraste que ocurre entre los hábitats urbanos y los no-urbanos adyacentes en las zonas peri-urbanas de la ciudad, mediante la disminución de la superficie ocupada por la infraestructura y el incremento del área reservada para la vegetación nativa.
- 2) Fomentar la utilización de múltiples especies vegetales en los cultivos adyacentes a las zonas urbanas, con el propósito de disminuir la homogeneidad en la estructura de la vegetación y ampliar así la variedad y disponibilidad de recursos utilizables por las aves.
- 3) Regular el crecimiento urbano de la zona peri-urbana de la ZMCM por medio del fomento de proyectos de construcción que incorporen las recomendaciones generadas por estudios de ecología urbana realizados en México y principalmente en la ZMCM.

## 6. LITERATURA CITADA

- Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., Zumbreunnen, C. 2003. Integrating humans into ecology: Opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *BioScience* 53:1169-1179.
- Álvarez-Romero, J., Medellín, R. A., Oliveras de Ita, A., Gómez de Silva, H., Sánchez, O. 2008. Animales exóticos en México: Una amenaza para la biodiversidad. Distrito Federal: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 366 p.
- Beecher, N. A., Johnson, R. J., Brandle, J. R., Case, R. M., Young, L. J. 2002. Agroecology of birds in organic and nonorganic farmland. *Conservation Biology* 6:1620-1631.
- Beissinger, S. R., Osborne, D. R. 1982. Effects of urbanization on avian community organization. *Condor* 84:75-83.
- Benton, T. G., Vickery, J. A., Wilson, J. D. 2003. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18:182-188.
- Blair, R. B. 1996. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications* 6:506-519.
- Bray, J. R., Curtis, J. T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 4:325-349.

- Brearley, G., Bradley, A., Bell, S., McAlpine, C. 2011. Change in habitat resources and structure near urban edges and its influence on the squirrel glider (*Petaurus norfolcensis*) in southeast Queensland, Australia. *Austral Ecology* 36:425-432.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., Thomas, L. 2001. *Introduction to Distance Sampling: Estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press. 432 p.
- Chace, J. F., Walsh, J. J. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning* 74:46-69.
- Chesser, R. T., Banks R.C., Barker, F. K., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W., Lovette, I. J., Rasmussen, P. C., Remsen, J. V., Rising, J. D., Stotz, D. F., Winker, K. 2011. Fifty-second supplement to the American Ornithologists' Union Check-List of North American Birds. *Auk* 127:726-744.
- Clergeau, P., Savard, J. L., Mennechez, G., Falardeu, G. 1998. Bird abundance and diversity along an urban-rural gradient: comparative study between two cities on different continents. *The Condor* 100:413-425.
- Clergeau, P., Jokimäki, J., Savard, J. P. L. 2001. Are urban bird communities influenced by the bird diversity of adjacent landscape? *Journal of Applied Ecology* 38:1122-1134.
- Colwell, R. K. 2009. Estimate S: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2 <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>>.

- (CONABIO) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1997. Portal de Geoinformación. CONABIO. Fecha de consulta: marzo 2010. <[http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/region/biotic/rbiog4mgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/rbiog4mgw)>.
- Croci, S., Butet, A., Clergeau, P. 2008. Does urbanization filter birds on the basis of their biological traits? *The Condor*. 110:223-240.
- Crooks, K. R., Suarez, A. V., Bolger, D. T. 2004. Avian assemblages along a gradient of urbanization in a highly fragmented landscape. *Biological Conservation* 115:451-462.
- Davis, A. M., Glick, T. F. 1978. Urban ecosystems and island biogeography. *Environmental Conservation* 5:299–304.
- Dunn, J., Alderfer, J. 2006. Field guide to the birds of North America. Washington: National Geographic Society. 502 p.
- Emlen, J. T. 1974. An urban bird community in Tucson, Arizona: derivation, structure, regulation. *The Condor* 76:184-197.
- Evans, K. L., Stuart, E. N., Gaston, K. J. 2009. Habitat influences on urban avian assemblages. *Ibis*. 151:19-39.
- Fernández-Juricic, E., Jokimäki, J. 2001. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: Case studies from southern and northern Europe. *Biodiversity Conservation* 10:2023–2043.



- González-García, F., Gómez de Silva, H. 2003. Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. *In*: Gómez de Silva, H. y Oliveras de Ita, A. (Eds.), Conservación de Aves. Experiencias en México. Distrito Federal: National Fish and Wildlife Foundation–CONABIO. 150–194 p.
- Grimm, N. B., Grove, J. M., Pickett, S. T. A., Redman, C. L. 2000. Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. *BioScience* 7:571-584.
- Hodgson, P., French, K., Major, R. E. 2007. Avian movement across abrupt ecological edges: differential responses to housing density in an urban matrix. *Landscape and Urban Planning* 79:266-272.
- Holland, M. M. 1987. SCOPE/MAB Technical consultations on landscape boundaries: Report of a SCOPE/MAB workshop on ecotones *In*: di Castri, F., Hansen, J. y Holland, M. M. (Eds.), A New look at Ecotones. Biology International. 47-106 p.
- Howell, S. N. G., Webb, S. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford: Oxford University Press. 851 p.
- Huff, M. H., Bettinger, K. A., Ferguson, M. L., Brown, M. J., Altman, B. 2000. A habitat based point-count protocol for terrestrial birds, emphasizing Washington and Oregon, U.S. Portland: Department of Agriculture. 39 p.
- Husté, A., Selmi, S., Boulinier, T. 2006. Bird communities in suburban patches near Paris: Determinants of local richness in highly fragmented landscape. *Ecoscience* 13:249-252.

Husté, A., Boulinier, T. 2007. Determinants of local extinction and turnover rates in urban bird communities. *Ecological Applications* 17:168-180.

Iaquinta, D. L., Drescher, A. W. 2000. Defining periurban: understanding rural-urban linkages and their connection to institutional contexts. *In Tenth World Congress. IRSA. Río de Janeiro. 26 p.*

(INEGI) Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática. 2008a. Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2005. INEGI. Fecha de consulta: marzo 2010. <<http://www.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825001537&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=0&pg=0#inicio>>.

(INEGI) Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática. 2008b. México en cifras. INEGI. Fecha de consulta: 26 de noviembre 2010. <<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=15>>.

(INEGI) Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática. 2009. Anuario Estadístico de México. Gobierno del Estado de México-INEGI. 955 p.

(INEGI) Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática. 2010. México en cifras. INEGI. Fecha de consulta: 26 de noviembre 2010 <<http://www.censo2010.org.mx/>>.

(IUCN) International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. 2010. IUCN Red List of Threatened Species <<http://www.iucnredlist.org/>>.

- Jokimäki, J., Suhonen, J. 1998. Distribution and habitat selection of wintering birds in urban environments. *Landscape and Urban Planning* 39:253-263.
- Kalinoski, R. 1975. Intra- and interspecific aggression in House Finches and House Sparrows. *The Condor* 77:375-384.
- Lim, H., Sodhi, N. 2004. Responses of avian guilds to urbanisation in a tropical city. *Landscape and Urban Planning* 66:199-215.
- López, R. 2003. Bases conceptuales y técnicas para la delimitación de zonas metropolitanas de México. *Revista de Información y Análisis*. 22. <[www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)>.
- Luck, G. W., Possingham, H. P., Paton, D. C. 1999. Bird response at inherent and induced edges in the Murray Mallee, South Australia. Nest Predation as an edge effect. *Emu* 99:170-175.
- MacGregor-Fors, I., Ortega-Álvarez, R., Schondube, J. E. 2009. On the ecological quality of urban systems: an ornithological perspective. *In*: Graber D.S., Birmingham K.A. (Eds.) *Urban Planning in the 21<sup>st</sup> Century*. Nueva York: Nova Science Publishers. 51-66 p.
- MacGregor-Fors, I. 2010. How to measure the urban-wildland ecotone: redefining “peri-urban” areas. *Ecological Research* 25:883-887.
- MacGregor-Fors, I., Morales-Pérez, L., Quesada, J., Schondube, J. E. 2010. Relationship between the presence of House Sparrows (*Passer domesticus*) and Neotropical bird community structure and diversity. *Biological Invasions* 12:87-96.

- MacGregor-Fors, I., Ortega-Álvarez, M. R. 2011. Fading from the forest: Bird community shifts related to urban park site-specific and landscape traits. *Urban Forestry & Urban Greening* 10:239-246.
- Marzluff, J., Bowman, R., Donnelly, R. 2001. A historical perspective on urban bird research: trends, terms, and approaches. *In: Marzluff, J., Bowman, R., Donnelly, R. (Eds.) Avian Conservation and Ecology in an Urbanizing World. Boston: Kluwer Academic. 1-17 p.*
- McAlece N. 1997. BioDiversity Professional. <<http://www.sams.ac.uk/research/software>>.
- McKinney, M. L., Lockwood, J. L. 2001. Biotic homogenization: a sequential and selective process. *In: McKinney, M. L., Lockwood, J. L. (Eds), Biotic Homogenization. Nueva York: Kluwer Academic. 1-16 p.*
- McKinney, M. L. 2002. Urbanization, biodiversity and conservation. *Bioscience* 52:883-890.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127:247-260.
- McKinney, M. L. 2008. Do humans homogenize differentiate biotas? It depends. *Journal of Biogeography* 35:1960-1961.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA. Zaragoza: Gorfi S.A. 84 p.

- Morrison, S. A., Bolger, D. T. 2002. Lack of urban edge effect on reproduction in a fragmentation-sensitive sparrow. *Ecological Applications* 12:398-411.
- Naciones Unidas. 2008. World urbanization prospects: the 2007 revision. United Nations. Fecha de consulta: 18 de noviembre 2010 <[http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP\\_ExecSum\\_web.pdf](http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP_ExecSum_web.pdf)>.
- Niemelä, J. 1999. Ecology and urban planning. *Biodiversity and Conservation* 8:119-131.
- Nocedal, J. 1982. Las comunidades de pájaros y su relación con la urbanización en la Ciudad de México. *In*: Rapoport, E. y López-Moreno, I. (Eds.), *Aportes a la ecología urbana de la Ciudad de México*. Distrito Federal: Editorial Limusa. 73-109 p.
- Ortega-Álvarez, R., MacGregor-Fors, I. 2009. Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity and composition. *Landscape and Urban Planning* 90:189-195.
- Ortega-Álvarez, R., MacGregor-Fors, I. 2011. Dusting-off the file: A review of knowledge on urban ornithology in Latin America. *Landscape and Urban Planning* 101:1-10.
- Paton, P. W. 1994. The effect of edge on avian nest success: How strong is the evidence? *Conservation Biology* 1:17-26.
- Payton, M. E., Greenstone, M. H., Schencker, N. 2003. Overlapping confidence intervals or standard error intervals: What do they mean in terms of statistical significance? *Journal of Insect Science* 3:1-6.

Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F., Milá, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Albany: Department of Agriculture. 46 p.

Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. 4ª edición. México: Limusa. 432 p.

Savard, J. P. L., Clergeau, P., Mennechez, G. 2000. Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning* 48:131-142.

(SDUEM) Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado de México. 2003. Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Ecatepec Morelos, Estado de México. Secretaría de Desarrollo Urbano. Fecha de consulta: 6 de diciembre 2010 <[http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales/ecatepec/doc-ecatepec.pdf](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/ecatepec/doc-ecatepec.pdf)>.

(SDUEM) Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado de México, H. Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz. 2009. Plan de Desarrollo Municipal 2009-2012. Portal Tlalnepantla de Baz. Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2010 <[http://www.tlalnepantla.gob.mx/portal/Publicaciones/plan\\_desarrollo\\_municipal\\_2009-2012/plan\\_desarrollo\\_municipal2009-2012.html](http://www.tlalnepantla.gob.mx/portal/Publicaciones/plan_desarrollo_municipal_2009-2012/plan_desarrollo_municipal2009-2012.html)>.

(SEMARNAT) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 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. Segunda Sección. Distrito Federal: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 77 p.

- Shochat, E. 2004. Credit or debit? Resource input changes population dynamics of city-slicker birds. *Oikos* 106:622-626.
- Shwartz, A., Shirley, S., Kark, S. 2008. How do habitat variability and management regime shape the spatial heterogeneity of birds within a large Mediterranean urban park? *Landscape and Urban Planning* 84:219-229.
- Sukopp, H. 2002. On the early history of urban ecology in Europe. *Preslia* 74:373-393.
- Ting, Z., Shaolin, P. 2008. Spatial scale types and measurement of edge effects in ecology. *Acta Ecológica Sinica* 28:3322-3333.
- Tjallingli, S. P. 2000. Ecology on the edge: landscape and ecology between town and country. *Landscape and Urban Planning* 48:103-119.
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R., Marques, T. A., Burnham, K. P. 2009. Distance software: Design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47:5-14.
- van Rensburg, B. J., Peacock, D., Robertson, M. P. 2009. Biotic homogenization and alien bird species along an urban gradient in South Africa. *Landscape and Urban Planning* 92:233-241.
- Vilisics, F., Hornung, E. 2009. Urban areas as hot-spots for introduced and shelters for native isopod species. *Urban Ecosyst* 12:333-345.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., Melillo, J. M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277:494-499.