



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**EFFECTOS DEL TIPO DE USO DE SUELO URBANO
SOBRE LA DIVERSIDAD, ESTRUCTURA Y
COMPOSICIÓN DE LAS COMUNIDADES DE AVES DEL
SUROESTE DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

MARCOS RUBÉN ORTEGA ÁLVAREZ

TUTOR: M. en C. IAN MACGREGOR FORS



2008



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.



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.

AGRADECIMIENTOS

Gracias por haber caminado a mi lado. Tu presencia ha sido decisiva para este trabajo, para mi licenciatura, para mi vida. Gracias por ser parte de las maravillas que asombran e inspiran mi propia travesía a través del estudio de la vida. Gracias Ana.

Mi más profundo agradecimiento a Ian MacGregor Fors, a quien estimo como amigo y admiro como profesionista. Gracias por acompañarme a lo largo de esta aventura, no pude haber sido privilegiado con mejor guía para enfrentar tropiezos y compartir alegrías.

El respaldo que recibí de mi familia fue fundamental para la culminación de este trabajo, especialmente el de mis padres, a quienes les estoy muy agradecido por su apoyo incondicional y por ser el vivo ejemplo de la tenacidad y el esfuerzo que tanto me inspira.

A dos grandes amigas, Olivia y Laura. Ustedes hicieron todavía más bella a la biología con su entusiasmo por los bichos. Gracias por compartir el asombro, la angustia, la fascinación, los sueños, las penas y las alegrías. Fui afortunado al haber podido aprender junto a ustedes y de ustedes.

A Luis Antonio Sánchez, a Patricia Ramírez, a Fanny Rebón y a Adolfo Navarro, por enriquecer este trabajo con sus observaciones y comentarios.

A Adolfo Navarro, por ser un invaluable consejero y por su valiosa intervención en el origen y desarrollo de esta tesis.

A Elvia Jiménez y Carlos Juárez, por su apoyo, sus enseñanzas y la oportunidad que me brindaron para introducirme en el mundo de las plumas.

A Susana Valencia y Ramiro Cruz, por la ayuda que me brindaron en lo concerniente a los aspectos botánicos de este trabajo.

A María del Coro Arizmendi, por su apoyo y sus valiosos comentarios.

A cada uno de los compañeros de quienes aprendí, con quienes me sorprendí y disfruté no pocos momentos a lo largo de la carrera.

A cada profesor con quien descubrí un pedacito de la biología, especialmente a Zenón Cano y Margarita Villegas, por compartirme algo más que conocimientos a través de la pasión con que estudian a la vida.

Al taller de *Faunística, Sistemática y Biogeografía de los Vertebrados Terrestres de México*, dentro del cual tuve la oportunidad de aprender de excelentes profesores y disfrutar de la compañía de grandes amigos, a todos ellos muchas gracias.

A aquellos quienes le dan vida al Museo de Zoología, especialmente a Gordillo, César, Howell, Puebla, y Lety, por ayudarme en aspectos varios de la tesis.

A la gran diversidad de espíritus que forjan a la Universidad Nacional Autónoma de México, por la profunda huella que han dejado en mi vida, por permitirme ser parte de ustedes y por ser más que una casa del conocimiento. ¡Goya!

A los habitantes del Distrito Federal, quienes me permitieron muestrear frente a sus casas, en sus jardines y entre sus autos. Gracias por el ánimo que me brindaron y por disimular la desconfianza.

Al apoyo brindado por el proyecto “Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano en la Cuenca del Río Magdalena”, UNAM.





*Para el habitante urbano, ya sea que lo adornen hojas,
plumas, pelo o escamas.*

Para que el vuelo no termine.

Ella está en el horizonte, me acerco dos pasos y ella se corre dos pasos, me acerco diez pasos y ella se corre diez pasos más allá. Por más que me acerque nunca la alcanzaré. ¿Para qué sirve la utopía? Para eso sirve: para caminar.

Eduardo Galeano

Quien no conoce nada, no ama nada. Quien no puede hacer nada, no comprende nada. Quien nada comprende, nada vale. Pero quien comprende también ama, observa, ve... Cuanto mayor es el conocimiento inherente a una cosa, más grande es el amor... Quien cree que todas las frutas maduran al mismo tiempo que las frutillas nada sabe acerca de las uvas.

Paracelso

ÍNDICE GENERAL



1. Introducción.....	1
1.1 <i>Objetivos.....</i>	6
2. Métodos.....	8
2.1 <i>Área de estudio.....</i>	8
2.2 <i>Muestreos de aves.....</i>	13
2.3 <i>Caracterización de los sitios de muestreo.....</i>	14
2.4 <i>Análisis de datos.....</i>	15
3. Resultados.....	19
3.1 <i>Muestreos de aves.....</i>	19
3.2 <i>Características del hábitat.....</i>	24
3.3 <i>Diversidad de las comunidades de aves.....</i>	24
3.4 <i>Estructura (equitatividad / dominancia) de las comunidades de aves.....</i>	29
3.5 <i>Similitud taxonómica (recambio de especies)</i> <i>de las comunidades de aves.....</i>	31
3.6 <i>Composición y proporciones tróficas de las comunidades de aves.....</i>	34
3.7 <i>Efecto de las características del hábitat sobre la diversidad</i> <i>de las comunidades de aves.....</i>	38
4. Discusión.....	41
5. Conclusiones.....	46
6. Literatura citada.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Representatividad de los muestreos de aves del suroeste de la ZMCM.....	20
Cuadro 2. Número esperado de nuevas especies en un muestreo subsiguiente.....	21
Cuadro 3. Lista de especies de aves terrestres residentes registradas en las diferentes categorías de uso de suelo de la región suroeste de la ZMCM.....	22
Cuadro 4. Proporción de similitud del componente vegetal, estructura urbana y actividad humana de las diferentes categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM	27
Cuadro 5. Matriz de recambio de especies en las diferentes categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM.....	32
Cuadro 6. Categorías de tamaño de los diferentes grupos alimenticios de las comunidades de aves del suroeste de la ZMCM.....	36
Cuadro 7. Análisis de relación entre las variables de los hábitats urbanos y la riqueza de especies de aves del suroeste de la ZMCM.....	39
Cuadro 8. Análisis de relación entre las variables de los hábitats urbanos y la abundancia de especies de aves del suroeste de la ZMCM.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	11
Figura 2. Localización de las categorías de uso de suelo muestreadas al suroeste de la ZMCM.....	12
Figura 3. Análisis de agrupaciones de similitud de las características del hábitat y la actividad humana entre las categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM....	26
Figura 4. Patrón de diversidad (riqueza de especies y abundancia) de las comunidades de aves del suroeste de la ZMCM.....	28
Figura 5. Curvas de rango de especies / abundancia de las categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM.....	30
Figura 6. Análisis de agrupaciones de similitud taxonómica de aves para las categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM.....	33
Figura 7. Análisis de agrupaciones de las diferentes categorías de tamaño de los grupos alimenticios de aves registradas en el suroeste de la ZMCM.....	37

Resumen

La urbanización genera la fragmentación de los hábitats, la extinción de numerosas especies y la homogeneización biótica, siendo así una amenaza importante para la biodiversidad a diferentes escalas. En este trabajo, describo los patrones de la diversidad, la estructura y la composición de las comunidades de aves en diferentes categorías de uso de suelo urbano. Para ello, llevé a cabo muestreos de aves terrestres residentes en cuatro categorías de uso de suelo urbano representativas del suroeste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Para describir las categorías de uso de suelo, medí atributos relacionados con la vegetación, la complejidad de la estructura urbana, la presión de depredación y la actividad humana. Los resultados de éste estudio muestran que las comunidades de aves difieren ampliamente entre las diferentes categorías de uso de suelo urbano. La estructura de las comunidades de aves mostró ser altamente dominada por un subgrupo pequeño de especies explotadoras de ambientes urbanos en áreas con componentes comerciales, mientras que fue más equitativa en las áreas verdes. Este fenómeno se vio reflejado por la relación de los valores de diversidad de aves con respecto al nivel de urbanización: (1) el decremento de la riqueza de especies de aves, y (2) el incremento de la abundancia total de aves. Así, los resultados de este trabajo sugieren que los patrones de estructura y diversidad de las comunidades de aves observados son, en parte, explicados por las características del hábitat (e.g. riqueza arbórea, cobertura y altura arbustiva, altura de plantas herbáceas), las cuales mostraron amplias diferencias entre las categorías de uso de suelo urbano muestreadas. A pesar de que los resultados de este trabajo no permiten establecer un patrón de homogeneización taxonómica, la intensidad de la urbanización mostró una relación estrecha con la homogeneización funcional de las comunidades de aves. Por último, con base en mis resultados sugiero algunas actividades de manejo del paisaje urbano con la finalidad de promover la riqueza de especies y la equitatividad de la comunidad de aves en la Ciudad de México y otras ciudades de Latinoamérica.

1. Introducción

Gran parte de los estudios de ecología se han concentrado en los ecosistemas naturales y han evitado aquellos creados por el hombre (Gavareski 1976, Hostetler 1999, Melles 2005). Desde mediados del siglo pasado, la idea de que el ser humano es un componente importante que moldea a la naturaleza fue incorporada en el contexto ecológico (Nolan 2005). Debido a lo anterior, los estudios ecológicos en asentamientos humanos son de gran importancia debido a que los sistemas urbanos: (1) afectan negativamente a los ecosistemas en diferentes escalas; (2) son lugares de convivencia entre el ser humano y la naturaleza; y (3) son útiles para comprender a otros sistemas ecológicos (Grimm *et al.* 2000).

Las ciudades son sistemas con estructuras, funciones y procesos propios, todos ellos muy distintos a los de los hábitats que las circundan (Grimm *et al.* 2000). Si bien cada ciudad posee características geográficas, biológicas, culturales, institucionales y económicas únicas (Clergeau *et al.* 1998, Ipsen 1998), la mayor parte de los sistemas urbanos del mundo son similares estructuralmente (Savard *et al.* 2000). La elevada heterogeneidad ambiental de las ciudades, dada por las categorías de uso de suelo urbano, generan sistemas conformados por parches, determinados por: (1) las actividades humanas que se realizan dentro de ellos; (2) su infraestructura; y (3) su composición vegetal (Pickett *et al.* 1997). Estas categorías hacen de los sistemas urbanos áreas que permiten el análisis de las respuestas de la vida silvestre ante diferentes niveles de urbanización y actividad humana (Clergeau *et al.* 1998).



Las categorías de uso de suelo urbano son uno de los componentes mayormente relacionados con la complejidad de una ciudad (Sukopp 1998). Estas categorías se distinguen entre sí por: (1) las actividades humanas que se realizan en ellas; (2) su función; y (3) su infraestructura (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. 2003, Hruska 2006). Por tanto, la regulación de los cambios del uso de suelo es trascendental, ya que el cambio de uso de suelo urbano modifica las condiciones ecológicas originales (Vitousek *et al.* 1997) y determina el nivel de deterioro ambiental a diferentes escalas (Ceballos y Márquez 2000).

La urbanización ha sido identificada como un fenómeno que amenaza a la biodiversidad (Turner *et al.* 2004). Asimismo, la urbanización es uno de los factores principales que generan la fragmentación de hábitats originales y ha sido relacionada con la extinción de numerosas especies (Toledo 1994, Czech *et al.* 2000, Marzluff *et al.* 2001). Así, cuando un área es urbanizada, la vegetación original es removida y reemplazada por unas cuantas especies de árboles (generalmente exóticas; Moll 1997). Además, los remanentes de vegetación nativa y las áreas verdes plantadas son rodeadas por una matriz urbana muy diferente a aquella de los hábitats nativos preexistentes en el área (Marzluff y Ewing 2001). Otro fenómeno relacionado con la urbanización es la homogeneización biótica, ya que con la urbanización se propicia el reemplazo de especies nativas por unas cuantas especies explotadoras de ambientes urbanos (Lockwood *et al.* 2000, Blair 2001a, 2001b, McKinney 2002, Crooks *et al.* 2004, Olden *et al.* 2005).

Debido a que las estructuras urbanas son persistentes, el disturbio que generan las ciudades es prolongado, difícilmente reversible y creciente (McKinney 2002).



Actualmente, la superficie urbana a nivel mundial se incrementa (Turner 2003) y se espera que la población humana dentro de zonas urbanas aumente considerablemente en los próximos años, especialmente en los países en vías de desarrollo (United Nations 2003). Particularmente en México, el 67% de la población total habita en zonas urbanas (Garza 2002) y la sobreexplotación de los recursos naturales generada por la urbanización amenaza la conservación de la biodiversidad a nivel nacional (Rocha 2006).

Las aves son el único grupo de vertebrados que conforma comunidades complejas y diversas dentro de los ecosistemas urbanos. Estas comunidades deben enfrentarse a múltiples presiones, tales como: (1) el aumento de la depredación de nidos (Jokimäki y Huhta 2000); (2) la colisión con estructuras urbanas (Chace y Walsh 2006); (3) el estrés fisiológico (Partecke *et al.* 2006); (4) la fragmentación del hábitat (Marzluff *et al.* 2001); (5) la transmisión de enfermedades (Marzluff y Ewing 2001); y (6) la competencia con especies exóticas (Bowman y Marzluff 2001). Así, las especies que incursionan en ambientes urbanos: (1) huyen hacia zonas apartadas del disturbio urbano; (2) se adaptan a él; o (3) incursionan al sistema urbano y no logran adaptarse (Nocedal 1987, Blair 2004). Con base en sus características, cada especie responderá de diferente forma a las presiones generadas por la urbanización (Jokimäki y Huhta 2000) y su abundancia estará estrechamente relacionada con la calidad del hábitat (Orduña 2005).

El estudio del efecto que tiene la urbanización sobre las comunidades de vida silvestre se ha concentrado en el ámbito ornitológico. Lo anterior responde a que las aves exhiben cuatro características que las hacen idóneas para evaluar hipótesis ecológicas en áreas urbanas: (1) se encuentran a lo largo y ancho de las ciudades (Blair 1999, Turner



2003); (2) son sensibles a disturbios prolongados provocados por el hombre (Fisher y Peterson 1977); (3) son conspicuas (Ralph *et al.* 1996); y (4) exhiben preferencia por áreas con diferentes niveles de desarrollo urbano (Blair 1999). Las aves que habitan en sistemas urbanos han sido clasificadas como: (a) explotadoras de ambientes urbanos; (b) utilizadoras de ambientes urbanos; (c) adaptables de ambientes urbanos; y (d) evasoras urbanas (Nocedal 1987, Blair 1996). Las especies explotadoras de ambientes urbanos son aquellas capaces de aprovechar los recursos alimenticios y de anidación urbanos, generalmente son gregarias y sedentarias y alcanzan su mayor densidad poblacional en zonas de alto desarrollo urbano (Kark *et al.* 2007). Las especies utilizadoras de sistemas urbanos se ven beneficiadas por el desarrollo urbano, sin embargo su presencia no se limita a zonas urbanas. Las especies adaptables a ambientes urbanos son aquellas que pueden aprovechar los recursos urbanos en áreas con bajos niveles de desarrollo urbano (e.g., parques, arboledas, jardines). Por último, las especies evasoras de ambientes urbanos son aquellas sensibles al disturbio humano, por lo que evitan las ciudades y alcanzan sus mayores densidades en los hábitats naturales. Una gran proporción de la avifauna urbana está representada por individuos de especies explotadoras de ambientes urbanos, que en su mayoría son generalistas y exóticas (Kendle y Forbes 1997, Jokimäki y Suhonen 1998). El éxito de las especies exóticas en ambientes urbanos ha sido relacionado con la reducción del número de especies nativas, lo que influye en la composición original de la comunidad de aves (Wittig 1998). Pocas son las especies que se ven beneficiadas por la urbanización, lo que puede conllevar a procesos de homogeneización taxonómica de las comunidades de aves (Blair 1996, 1999, 2001a, 2001b, 2004). Lo anterior está relacionado con el hecho de que la modificación del tipo y cantidad de recursos disponibles en áreas urbanas beneficia



principalmente a especies omnívoras y granívoras (Emlen 1974, Beissinger y Osborne 1982, Mörtberg 2001, Chace y Walsh 2006).

El aumento de la abundancia de las especies explotadoras de ambientes urbanos responde principalmente a la disminución en el riesgo de depredación y a la disponibilidad constante de alimento (Faeth *et al.* 2005). Sin embargo, aunque el alimento es abundante en las ciudades y su presencia es altamente predecible, la competencia y el costo energético necesario para encontrarlo propician que la disponibilidad del recurso sea constante pero en cantidades reducidas a nivel individuo. Así, pocos individuos logran alimentarse lo suficiente como para poder reproducirse eficientemente (Shochat 2004).

El conocimiento sobre los efectos que tiene la urbanización sobre las comunidades de aves ha incrementado en las últimas décadas, sin embargo los estudios se enfocan en el norte de Norteamérica (Canadá y Estados Unidos de América) y Europa (Marzluff *et al.* 2001). Estos trabajos han identificado patrones generales relacionados con los efectos que tiene la urbanización sobre las comunidades de aves. Algunos patrones resumen, a grandes rasgos, estos efectos: (1) la composición de especies cambia (Blair 1996); (2) unas pocas especies, generalmente exóticas, dominan la comunidad (Beissinger y Osborne 1982); (3) la riqueza de especies disminuye (Blair 1996); y (4) la abundancia de aves aumenta (Beissinger y Osborne 1982, Chace y Walsh 2006).

Al igual que sucede en los hábitats naturales, los atributos de los hábitats urbanos afectan los valores de diversidad, estructura y composición de las comunidades de aves que habitan en ellos. De hecho, se ha demostrado que la diversidad de aves nativas se relaciona



positivamente con el volumen de vegetación nativa (especialmente del estrato arbóreo) y con la cobertura, composición y altura del componente vegetal (Mills *et al.* 1989, Clergeau *et al.* 1998, MacGregor-Fors 2008). Sin embargo, aún es poco lo que se sabe sobre el efecto que tienen las características de los hábitats urbanos sobre las comunidades de aves. Este conocimiento es imprescindible para comprender los factores que determinan su presencia y abundancia dentro de las ciudades (Jokimäki y Suhonen 1998, Miller *et al.* 2001).

1.1 Objetivos

a) General

El desconocimiento sobre los efectos que tienen las diferentes categorías de uso de suelo sobre las comunidades de aves urbanas es amplio. Por ello, en este trabajo analizo el efecto que tienen las categorías de uso de suelo sobre las comunidades de aves terrestres del suroeste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

b) Particulares

- i. Evaluar el efecto que tienen cuatro categorías de uso de suelo urbano (áreas verdes, residenciales, residenciales-comerciales y comerciales) sobre los valores de diversidad (riqueza y abundancia), estructura (equitatividad / dominancia) y composición (taxonómica y trófica) de las comunidades de aves terrestres del suroeste de la ZMCM.



- ii. Analizar el efecto de las características del hábitat sobre las comunidades de aves terrestres del suroeste de la ZMCM.

- iii. Generar recomendaciones sobre la implementación de actividades de planeación y manejo del paisaje urbano para auxiliar en el mantenimiento y promoción de la diversidad de aves en la ZMCM, procurando a su vez el mejoramiento de las condiciones de vida de la población humana.



2. Métodos

2.1 Área de estudio

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es la segunda zona conurbada más grande del mundo, integrada por el Distrito Federal, 40 municipios del Estado de México y uno del Estado de Hidalgo. La ZMCM ocupa una superficie de aproximadamente 1,800 km², alberga una población cercana a los 20 millones de habitantes y exhibe una tasa de crecimiento media anual de 0.8% (INEGI 2006). Esta zona conurbada se ubica en la región central del Eje Neovolcánico Transversal, cordillera que divide las regiones biogeográficas neártica y neotropical (Fig. 1). Debido al ámbito altitudinal que exhibe (entre 2240 – 4000 msnm), el área que actualmente ocupa la ZMCM (parte del Valle de México) estaba originalmente cubierta por 10 tipos de vegetación: (1) bosque de abeto; (2) bosque mesófilo de montaña; (3) bosque de pino; (4) bosque de encino; (5) bosque de junípero; (6) matorral de encino; (7) pastizal; (8) matorral xerófilo; (9) vegetación halófito; y (10) vegetación acuática y subacuática (Rzedowski y Rzedowski 2005). Al igual que la mayoría de las ciudades de Latinoamérica, la ZMCM es un sistema urbano altamente heterogéneo (Aguilar 2004), donde las principales categorías de uso de suelo son similares a las del resto del mundo: (1) comercial; (2) residencial; (3) industrial; y (4) áreas verdes (Blair 1996, Jokimäki y Suhonen 1998, López *et al.* 2001).

Éste trabajo lo realicé en la región suroeste de la ZMCM, en donde las áreas comerciales, residencial-comerciales, residenciales y verdes son las categorías de uso de suelo más representativas. Los muestreos los llevé a cabo en las siguientes delegaciones:



(1) Cuauhtemoc; (2) Benito Juárez; (3) Miguel Hidalgo; (4) Coyoacan; (5) Tlalpan; (6) Magdalena Contreras; (7) Cuajimalpa; y (8) Álvaro Obregón (Fig. 2). En ésta región de la ZMCM, el crecimiento urbano está limitado por la presencia de un cinturón verde conformado por tres Áreas Naturales Protegidas: (1) Parque Nacional Desierto de los Leones; (2) Cumbres del Ajusco; y el (3) corredor biológico Chichinautzin (Arriaga *et al.* 2000).

Independientemente de la presión antropogénica que ha recibido el área en la que se encuentra la ZMCM por más de 700 años (Martínez 1991), esta región representa un área de importancia biológica notable (Flores y Geréz 1994). Desafortunadamente, al igual que la mayoría de las ciudades mexicanas, el crecimiento de la ZMCM es continuo y exponencial (Rojas 2004). Lo anterior, aunado a las dinámicas de cambio de uso de suelo y crecimiento poblacional, fenómenos comunes entre las grandes ciudades del mundo, deriva en ciudades no sustentables que representan una amenaza para la biodiversidad (Rocha 2006).

Aunque el proceso de urbanización ha propiciado la pérdida de especies en la ZMCM (Peterson y Navarro 2006), el área alberga numerosas especies de plantas y animales. Particularmente, el grupo de las aves está representado aproximadamente por 320 especies (Wilson y Ceballos-Lascurain 1993), agrupadas en 58 familias y 18 órdenes según la taxonomía propuesta por la Unión Americana de Ornitólogos (AOU 1998). De éstas, 120 son especies residentes reproductivas y más de 200 son migratorias (Wilson y Ceballos-Lascurain 1993). Además, 19 especies son endémicas para México (González-García y Gómez de Silva 2003). Desafortunadamente, la actividad humana y el



crecimiento desordenado de la ZMCM representan una amenaza para la avifauna que existe en la zona, debido principalmente a: (1) los cambios de uso de suelo; (2) la contaminación ambiental; y (3) la desecación de los cuerpos de agua (Arellano y Rojas 1956, Peterson y Navarro 2006).

Paradójicamente, la ZMCM, una de las zonas metropolitanas más grandes del mundo, solo cuenta con un estudio que evalúa el efecto que tiene el proceso de urbanización sobre las comunidades de aves que habitan dentro de la metrópoli (Nocedal 1987). En dicho trabajo se encontró que conforme aumenta el grado de urbanización: (1) la diversidad de aves disminuye; (2) la densidad de algunas especies de aves aumenta; (3) el número de especies insectívoras y omnívoras se reduce; (4) el número de especies granívoras incrementa; y (5) las comunidades están dominadas por unas cuantas especies exóticas (Nocedal 1987).

Figura 1. Localización del área de estudio. La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se encuentra ubicada en el Eje Neovolcánico Transversal (centro del país). La mayor porción de su territorio se ubica en el Distrito Federal. El área de estudio de este trabajo se localiza en la región suroeste de la ZMCM, en donde las áreas comerciales, residencial-comerciales, residenciales y verdes son las categorías de uso de suelo más representativas.

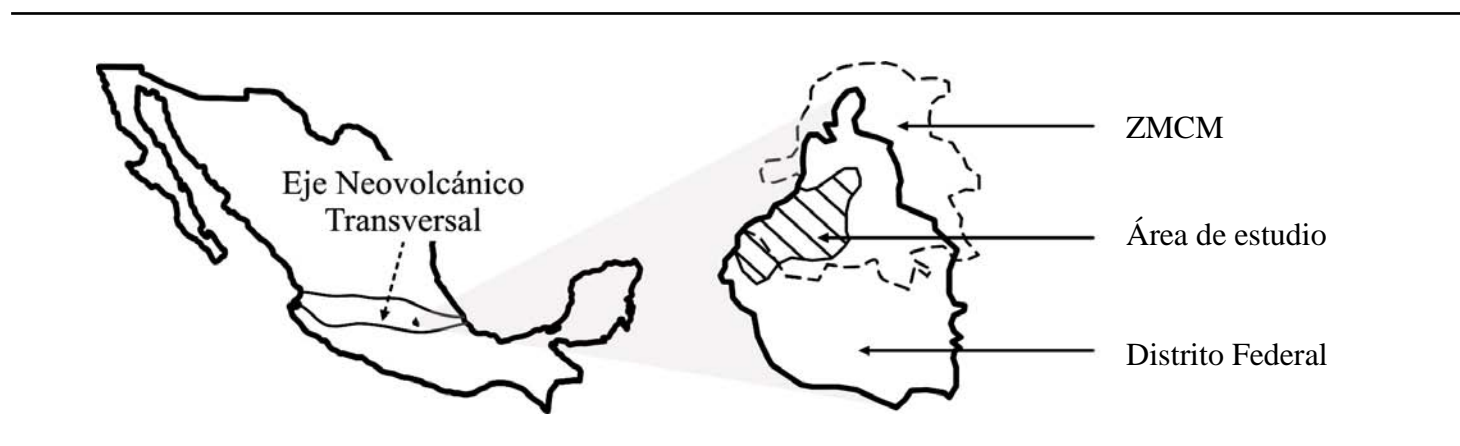
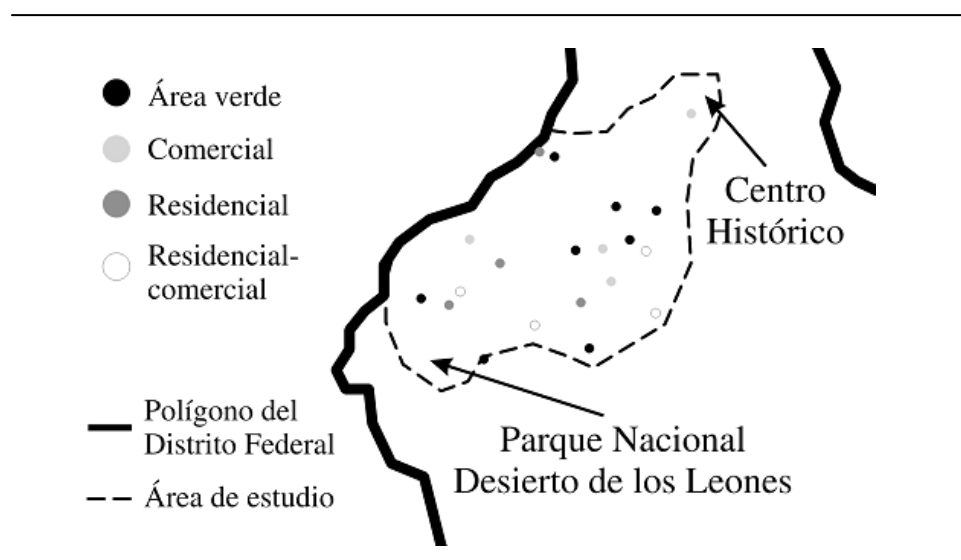


Figura 2. Localización de las categorías de uso de suelo muestreadas al suroeste de la ZMCM. Los muestreos los llevé a cabo en las delegaciones: (1) Cuauhtemoc; (2) Benito Juárez; (3) Miguel Hidalgo; (4) Coyoacan; (5) Tlalpan; (6) Magdalena Contreras; (7) Cuajimalpa; y (8) Álvaro Obregón.



2.2 Muestreos de aves

Llevé a cabo muestreos de aves residentes en la región suroeste de la ZMCM durante Junio y Julio de 2007 de las 07:00 – 10:00 a.m. El método de muestreo que utilicé fue el de conteo por puntos (radio indefinido) por un periodo de tiempo de 10 min (*sensu* Ralph *et al.* 1995, Ralph *et al.* 1996). Con la finalidad de asegurar la independencia de los muestreos, ubiqué los puntos de conteo a una distancia mínima de 250 m entre puntos (Ralph *et al.* 1996, Huff *et al.* 2000). En cada punto registré todos los individuos de todas las especies presentes que utilizaban activamente el hábitat, las cuales detecté tanto visual como auditivamente. La identificación de las especies la llevé a cabo utilizando las guías de Dunn y Alderfer (2006), Howell y Webb (1995), Peterson y Chalif (2000), Percevia Field Guides (2007) y Sibley (2001). Llevé a cabo 40 puntos de conteo en cada una de las categorías de uso de suelo representativas del suroeste de la ZMCM: (1) comercial; (2) residencial-comercial; (3) residencial; y (4) área verde. La razón por la cual elegí trabajar en el suroeste de la ciudad reside en la elevada riqueza de especies de vertebrados que contiene (Flores y Geréz 1994).

Con la finalidad de sistematizar la selección de los puntos de conteo utilicé dos parámetros principales. Primero, seguí la clasificación de niveles de urbanización propuesta por Marzluff *et al.* (2001) en aras de distinguir a las áreas urbanas de las áreas verdes. Segundo, utilicé la presencia de establecimientos comerciales como componente de distinción entre las categorías de uso de suelo urbano (comercial y residencial). Las áreas residencial-comerciales fueron delimitadas con respecto a la presencia de componentes tanto residenciales como comerciales. La delimitación de las categorías de uso de suelo

anteriormente descrita ha sido utilizada recientemente para evaluar hipótesis ecológicas en otra ciudad mexicana (Morelia; MacGregor-Fors *et al. en prensa*).

2.3 Caracterización de los sitios de muestreo

Con el propósito de evaluar si algunas de las estructuras y/o componentes de la ciudad afectan a las comunidades de aves, medí atributos urbanos y de vegetación en un área de 25 m de radio sobre los mismos lugares en donde realicé los puntos de conteo. Así, en cada uno de los puntos medí 11 atributos, los cuales en conjunto describen la estructura de la vegetación: (1) número de estratos (arbóreo, arbustivo y herbáceo); (2) riqueza de especies arbóreas (número de especies en 1963.5 m²); (3) abundancia arbórea (número de árboles en 1963.5 m²); (4) valor máximo de DAP (diámetro a la altura del pecho) arbóreo; (5) cobertura arbórea (porcentaje de 1963.5 m²); (6) altura máxima arbórea; (7) riqueza de las especies de arbustos (número de especies en 1963.5 m²); (8) cobertura arbustiva (porcentaje de 1963.5 m²); (9) altura máxima arbustiva; (10) cobertura de plantas herbáceas (porcentaje de 1963.5 m²); y (11) altura máxima de plantas herbáceas. Además, medí cinco variables que describen la presión de depredación en zonas urbanas, la estructura artificial de las ciudades y la actividad humana: (1) número de depredadores domésticos (número de perros y gatos / min); (2) cobertura de estructuras de concreto (porcentaje de 1963.5 m²; e.g. pavimento, banquetas, construcciones); (3) altura máxima de las edificaciones; (4) número de transeúntes (número de transeúntes / min); y (5) número de automóviles (número de automóviles / min). En aras de comprender las características del hábitat y la actividad humana entre las categorías de uso de suelo, utilicé un análisis multivariado de agrupaciones (Bray y Curtis 1957).

2.4 Análisis de datos

Con la finalidad de determinar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente para obtener una muestra representativa de las comunidades de aves de la región suroeste de la ZMCM, llevé a cabo dos análisis de predicción de especies con la Plataforma SPADE (Chao y Shen 2003). Primero, calculé un estimador de cobertura de muestra que representa la proporción de especies observadas en relación a la suma total de especies observadas y el número estimado de especies no detectadas. Segundo, estimé el número de *nuevas especies en un muestreo subsiguiente* utilizando un modelo multinomial con un tamaño de muestra para predicción de muestra igual a 5 muestreos.

Para comparar la riqueza de especies de las diferentes categorías de uso de suelo utilicé análisis de rarificación (James y Rathbun 1981; Gotelli y Colwell 2001). Lo anterior debido a que éste acercamiento permite la comparación estadística de la riqueza de especies entre diferentes comunidades, ya que calcula el número esperado de especies de cada muestra (categoría de uso de suelo en este caso) a diferentes magnitudes, tanto de esfuerzo de muestreo, como de número total de individuos (Moreno 2001). Los valores de la riqueza de especies de las diferentes categorías de uso de suelo las represento como el promedio calculado \pm intervalos de confianza 95%, ambos estadísticos generados a partir de la aleatorización repetida de los datos observados. Ya que los valores de abundancia de aves no se ajustaron a una distribución normal, llevé a cabo una transformación de los datos ($\log_{10} + 1$). Posteriormente, realicé un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si las diferentes categorías de uso de suelo afectan a la abundancia de aves (plataforma Statistica 2001).

Comparé la equitatividad / dominancia de las comunidades de aves en cada categoría de uso de suelo mediante el análisis de la distribución de la abundancia de las especies de aves en los diferentes tipos de uso de suelo urbano. Para ello utilicé curvas de rango de especies / abundancia, las cuales permiten hacer inferencias en cuanto a la distribución de los recursos en una comunidad (Magurran 2004). Además, llevé a cabo un análisis de covarianza (ANCOVA) con la finalidad de comparar la equitatividad / dominancia entre las categorías de uso de suelo. Ya que los valores de las abundancias entre rangos de especies difieren ampliamente entre categorías de uso de suelo, los valores fueron transformados (\log_{10}). Posterior al análisis de covarianza, llevé a cabo un análisis *post-hoc* de Newman-Keuls con la finalidad de conocer cuáles categorías de uso de suelo son estadísticamente distintas (Dytham 1999).

Utilicé dos métodos para evaluar el recambio de especies de aves entre las diferentes categorías de uso de suelo. Primero, calculé el coeficiente de Jaccard ($C_J = a / a + b + c$; Jaccard 1912), estadístico recomendado para evaluar el recambio de especies con un enfoque continuo, más que de ganancia y/o pérdida de especies (Koleff *et al.* 2003). Segundo, llevé a cabo un análisis multivariado de agrupaciones de Bray-Curtis (Bray y Curtis 1957) con la finalidad de robustecer la información brindada por el C_J . Éste análisis calcula la proporción de la similitud taxonómica con base en la incidencia de especies por localidad y posteriormente los agrupa en un dendrograma.

Para comparar la composición trófica de las comunidades de aves de las diferentes categorías de uso de suelo, clasifiqué a las especies con base en dos parámetros: (1) recurso alimenticio primario; y (2) tamaño (longitud total). El recurso alimenticio primario (que

determina el grupo alimenticio) lo determiné bibliográficamente con base en el recurso que compone la mayor proporción de la dieta de la especie (Peterson Multimedia Guides 1996, Bull y Farrand 1997, Percevia Field Guides 2007). El tamaño de las especies lo determiné de forma bibliográfica según lo propuesto por Howell y Webb (1995). Para establecer las categorías de tamaño de las especies de cada grupo alimenticio (e.g., insectívoros), llevé a cabo un análisis multivariado de agrupaciones (cluster). Así, determiné las categorías de tamaño de las especies de un grupo alimenticio con respecto a las agrupaciones formadas posteriores al 95% de similitud. Una vez que se obtuvo el grupo alimenticio y la categoría de tamaño para cada especie, llevé a cabo un análisis multivariado de agrupaciones de Bray-Curtis con la finalidad de evaluar la similitud de la composición trófica de las comunidades de aves entre las diferentes categorías de uso de suelo.

Por último, con el propósito de evaluar el efecto que tienen los atributos urbanos sobre las comunidades de aves del suroeste de la ZMCM, llevé a cabo un análisis de regresión múltiple (Dytham 1999). Antes de realizar el análisis, busqué posibles correlaciones significativas entre las variables de hábitat medidas. Aquellas correlaciones significativas fuertes ($r > 0.5$) fueron extraídas del análisis (como sugerido por Townend 2002), eligiendo aquellas variables que fueron evaluadas en campo como de mayor valor ecológico para las aves y con valores altos de varianza. Ya que incluí 11 variables relacionadas con la estructura y composición de la vegetación, la presión de depredación, la estructura artificial de las ciudades y la actividad humana, elegí la modalidad “hacia atrás – paso a paso” (*backward stepwise – at each step*) para el análisis de regresión múltiple. Lo anterior permite la extracción de aquellas variables que no exhiben varianza suficiente y/o no están relacionadas con alguna otra variable (Statística 2001). De tal forma, elegí el

modelo de regresión que incluyera el mayor número de variables independientes significativamente relacionadas con la riqueza y la abundancia de aves en las diferentes categorías de uso de suelo. Debido a que las especies exóticas explotadoras de ambientes urbanos, con números poblacionales grandes pueden sesgar los resultados del análisis de la abundancia de las comunidades de aves (Lepczyk *et al. en prensa*), la paloma doméstica (*Columba livia*) y el gorrión común (*Passer domesticus*), especies que conformaron el 44.56% de la abundancia total registrada en esta tesis, fueron extraídos del análisis general de abundancia de las comunidades de aves y fueron evaluados por separado. Para ello, realicé tres análisis de regresión múltiple para evaluar el efecto que tienen las variables medidas sobre la abundancia de aves: (1) abundancia total registrada (datos observados); (2) abundancia de especies nativas (exclusión artificial de especies exóticas); y (3) abundancia de especies exóticas (exclusión artificial de especies nativas). Lo anterior con la finalidad de evaluar el efecto que tienen las especies exóticas sobre la abundancia de aves.

3. Resultados

3.1 Muestreos de aves

Los resultados de los estimadores de representatividad de riqueza de especies mostraron que el esfuerzo de muestreo llevado a cabo en este trabajo registró una proporción significativa de las aves de la región suroeste de la ZMCM. El *estimador de cobertura de muestra* reveló que en cada categoría de uso de suelo detecté un porcentaje superior al 98% de las posibles especies presentes en las distintas comunidades de aves (Cuadro 1). Por otro lado, *el número esperado de nuevas especies en un muestreo subsiguiente* indicó que para cada categoría de uso de suelo, el número de especies nuevas que podría haber observado en cinco muestreos subsiguientes era menor a 1 (Cuadro 2).

Registré un total de 58 especies de aves terrestres residentes pertenecientes a 49 géneros y 24 familias (Cuadro 3; Howell y Webb 1995, AOU 1998). Éstas especies están representadas en seis grupos alimenticios: insectívoros (46.6%), granívoros (22.4%), omnívoros (13.8%), nectarívoros (8.6%), frugívoros (6.9%) y carnívoros (1.7%). Del total de las especies registradas, tres están consideradas en riesgo por el Gobierno Mexicano (SEMARNAT 2002), ocho son endémicas y ocho son cuasi-endémicas (Howell y Webb 1995). Ninguna de las especies registradas en este trabajo es considerada como amenazada a nivel mundial (IUCN 2006, BirdLife International 2008; Cuadro 3).

Cuadro 1. Representatividad de los muestreos de aves del suroeste de la ZMCM. Se presentan los valores obtenidos a partir del estimador de cobertura de muestra para 5 muestreos subsiguientes. En cada categoría de uso de suelo del suroeste de la ZMCM, se registró un porcentaje superior al 98% de las posibles especies presentes en las distintas comunidades de aves, lo cual sugiere que el muestreo fue representativo.

Categorías de uso de suelo	Cobertura de muestra estimada
Área Verde	0.988
Residencial	0.994
Residencial comercial	0.997
Comercial	0.997

Cuadro 2. Número esperado de nuevas especies en un muestreo subsiguiente. En cada categoría de uso de suelo del suroeste de la ZMCM, el número de especies nuevas que podrían ser observadas en cinco muestreos subsiguientes es menor a una especie. (a) Áreas verdes; (b) Residencial; (c) Residencial comercial; (d) Comercial.

(a) Áreas verdes

Estimador/Modelo	Estimado	Error Std.	Intervalo de confianza 95%
Efron & Thisted	0.5	0.2	(0.1, 0.95)
Boneh et al.	0.6	0.1	(0.3, 0.8)
Solow & Polasky	0.5	0.2	(0.1, 1)

(b) Residencial

Estimador/Modelo	Estimado	Error Std.	Intervalo de confianza 95%
Efron & Thisted	0.5	0.3	(0.0, 1.12)
Boneh et al.	0.5	0.2	(0.2, 0.9)
Solow & Polasky	0.5	0.4	(-0.2, 1.2)

(c) Residencial comercial

Estimador/Modelo	Estimado	Error Std.	Intervalo de confianza 95%
Efron & Thisted	0.2	0.3	(-0.4, 0.72)
Boneh et al.	0.7	0.2	(0.2, 1.1)
Solow & Polasky	0.2	0.2	(-0.3, 0.7)

(d) Comercial

Estimador/Modelo	Estimado	Error Std.	Intervalo de confianza 95%
Efron & Thisted	0.5	0.4	(-0.2, 1.16)
Boneh et al.	0.6	0.2	(0.1, 1.1)
Solow & Polasky	0.5	0.4	(-0.3, 1.2)

Cuadro 3. Lista de especies de aves terrestres residentes registradas en las diferentes categorías de uso de suelo de la región suroeste de la ZMCM. Se especifican los grupos alimenticios, el nivel de endemismo y la categoría de riesgo de las especies.

Familia	Especie ^{1, 2, 3}	Categorías de uso de suelo			
		Área verde	Residencial	Res.-Com.	Comercial
Odontophoridae	<i>Dendrortyx macroura</i> (G)** ^P	•			
Columbidae	<i>Columba livia</i> (O)		•	•	•
	<i>Columbina inca</i> (G)	•	•	•	•
Trochilidae	<i>Cyananthus latirostris</i> (N)*	•		•	•
	<i>Hylocharis leucotis</i> (N)	•	•	•	•
	<i>Amazilia beryllina</i> (N)	•	•	•	•
	<i>Lampornis clemenciae</i> (N)*	•	•	•	•
Picidae	<i>Melanerpes formicivorus</i> (O)	•	•		
	<i>Picoides scalaris</i> (I)				•
	<i>Picoides villosus</i> (I)	•			
Tyrannidae	<i>Contopus pertinax</i> (I)	•			
	<i>Empidonax occidentalis</i> (I)*	•	•	•	
	<i>Empidonax fulvifrons</i> (I)	•			
	<i>Empidonax</i> sp. (I)	•			
	<i>Tyrannus vociferans</i> (I)			•	
Laniidae	<i>Lanius ludovicianus</i> (C)	•			
Corvidae	<i>Cyanocitta stelleri</i> (O)	•			
	<i>Aphelocoma ultramarina</i> (O)	•	•		
Hirundinidae	<i>Tachycineta thalassina</i> (I)		•		
	<i>Hirundo rustica</i> (I)	•	•	•	•
Paridae	<i>Poecile sclateri</i> (I)*	•			
Aegithalidae	<i>Psaltriparus minimus</i> (I)	•	•	•	•
Sittidae	<i>Sitta carolinensis</i> (I)	•			
	<i>Sitta pygmaea</i> (I)	•			
Certhiidae	<i>Certhia americana</i> (I)	•			
Troglodytidae	<i>Thryomanes bewickii</i> (I)	•	•	•	•
	<i>Troglodytes aedon</i> (I)	•	•		
Regulidae	<i>Regulus satrapa</i> (I)	•			



Cuadro 3. (Continuación)

Familia	Especie ^{1,2,3}	Categorías de uso de suelo			
		Área verde	Residencial	Res.-Com.	Comercial
Turdidae	<i>Myadestes occidentalis</i> (I) ^P	•			
	<i>Catharus occidentalis</i> (I)**	•			
	<i>Turdus assimilis</i> (F)	•			
	<i>Turdus rufopalliatu</i> s (F)*	•	•	•	•
	<i>Turdus migratorius</i> (F)	•	•	•	•
Mimidae	<i>Toxostoma curvirostre</i> (I)	•	•		•
	<i>Melanotis caerulescens</i> (I)** ^P	•	•		
Ptilonotidae	<i>Ptilonotus cinereus</i> (F)*	•	•	•	
Peucedramidae	<i>Peucedramus taeniatus</i> (I)	•			
Parulidae	<i>Ergaticus ruber</i> (I)**	•			
	<i>Myioborus miniatus</i> (I)	•	•		
	<i>Basileuterus rufifrons</i> (I)*	•			
	<i>Basileuterus belli</i> (I)	•			
Emberizidae	<i>Diglossa baritula</i> (N)	•	•	•	•
	<i>Atlapetes pileatus</i> (G)**	•			
	<i>Buarremon virenticeps</i> (G)**	•			
	<i>Pipilo maculatus</i> (G)	•	•		
	<i>Pipilo fuscus</i> (O)	•	•		•
	<i>Oriturus superciliosus</i> (G)**	•	•		•
	<i>Melospiza melodía</i> (G)	•	•	•	•
	<i>Junco phaeonotus</i> (G)*	•	•		
Cardinalidae	<i>Pheucticus melanocephalus</i> (G)	•	•	•	•
Icteridae	<i>Quiscalus mexicanus</i> (O)	•		•	•
	<i>Molothrus aeneus</i> (O)	•	•	•	•
	<i>Icterus abeillei</i> (I)**	•	•	•	•
Fringillidae	<i>Carpodacus mexicanus</i> (G)	•	•	•	•
	<i>Loxia curvirostra</i> (G)	•	•		
	<i>Carduelis pinus</i> (G)	•	•		
	<i>Carduelis psaltria</i> (G)	•	•	•	•
Passeridae	<i>Passer domesticus</i> (O)	•	•	•	•

¹**Grupo alimenticio:** (I) = insectívoro; (G) = granívoro; (O) = omnívoro; (F) = frugívoro; (N) = nectarívoro; (C) = carnívoro.

²**Endemismos:** * = especie cuasi-endémica de México; ** = especie endémica de México.

³**Categoría de riesgo:** ^P = protección especial.



3.2 Características del hábitat

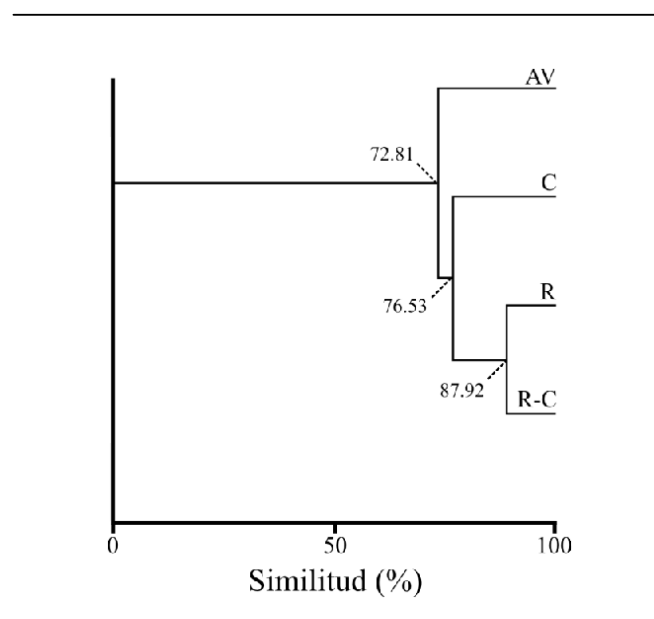
El análisis multivariado de agrupaciones muestra que las categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM difieren entre sí en cuanto sus características de hábitat (Fig. 3). Si bien las áreas comerciales y residencial-comerciales son muy similares, las áreas residenciales y residencial-comerciales poseen la mayor similitud estructural. Con respecto a las áreas verdes, las áreas residenciales exhibieron una mayor similitud, seguidas por las áreas residencial-comerciales. Las áreas comerciales y las áreas verdes exhibieron la mayor disimilitud de entre todas las categorías de uso de suelo (Cuadro 4).

3.3 Diversidad de las comunidades de aves

La riqueza de especies de aves disminuyó con respecto a la intensidad de urbanización (áreas verdes – áreas residenciales – áreas residencial-comerciales – áreas comerciales). El análisis de rarificación reveló que las áreas verdes exhibieron la máxima riqueza de especies de aves (55 ± 4.74 especies calculadas), seguidas por las áreas residenciales (31.49 ± 4.30 especies calculadas). La riqueza de especies fue menor dentro de las áreas residencial-comerciales (22.78 ± 3.58 especies calculadas) y comerciales (20.22 ± 4.17 especies calculadas), las cuales no exhibieron diferencias significativas entre sí (Fig. 4). Contrario al patrón que exhibió la riqueza de especies, la abundancia de aves aumentó con respecto al gradiente de urbanización. La mayor abundancia fue registrada en áreas comerciales (26.70 ± 5.68 individuos), seguida por las áreas residencial-comerciales (19.95 ± 1.18 individuos), las áreas residenciales (17.22 ± 0.92 individuos) y las áreas verdes (15.05 ± 1.90 individuos; Fig. 4). El análisis de varianza (ANOVA)

reveló que la categoría de uso de suelo afecta significativamente a dicho patrón de abundancia ($F_{3, 156} = 2.67, P < 0.049$).

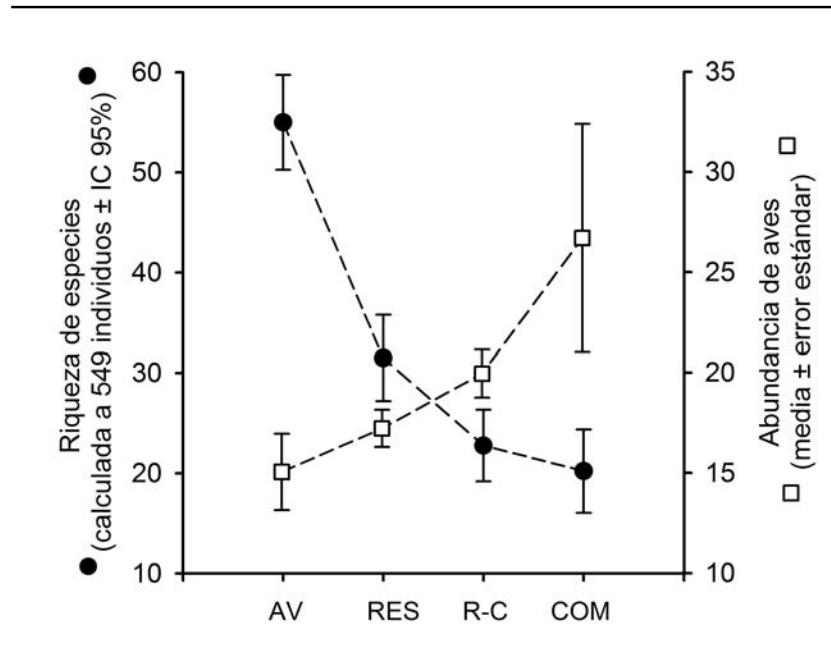
Figura 3. Análisis de agrupaciones de similitud de las características del hábitat y la actividad humana entre las categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM. Las categorías de uso de suelo mostraron diferencias entre sí en cuanto a sus características de hábitat. R = área residencial; R-C = área residencial-comercial; C = área comercial, AV = área verde. Los valores situados cerca de cada nodo representan el valor de similitud del mismo.



Cuadro 4. Proporción de similitud del componente vegetal, estructura urbana y actividad humana de las diferentes categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM. El análisis multivariado de agrupaciones muestra que las áreas más similares son las residenciales y las residencial-comerciales, seguidas por las comerciales y las residencial-comerciales. Por otro lado, las áreas que presentan la mayor disimilitud son las comerciales y las áreas verdes. Con respecto a las áreas verdes, las áreas residenciales exhibieron una mayor similitud, seguidas por las áreas residencial-comerciales.

	Porcentaje de Similitud			
	Área verde	Residencial	Res.-Com.	Comercial
Área verde	-			
Residencial	73.95	-		
Res.-Com.	71.34	89.45	-	
Comercial	57.00	73.02	77.16	-

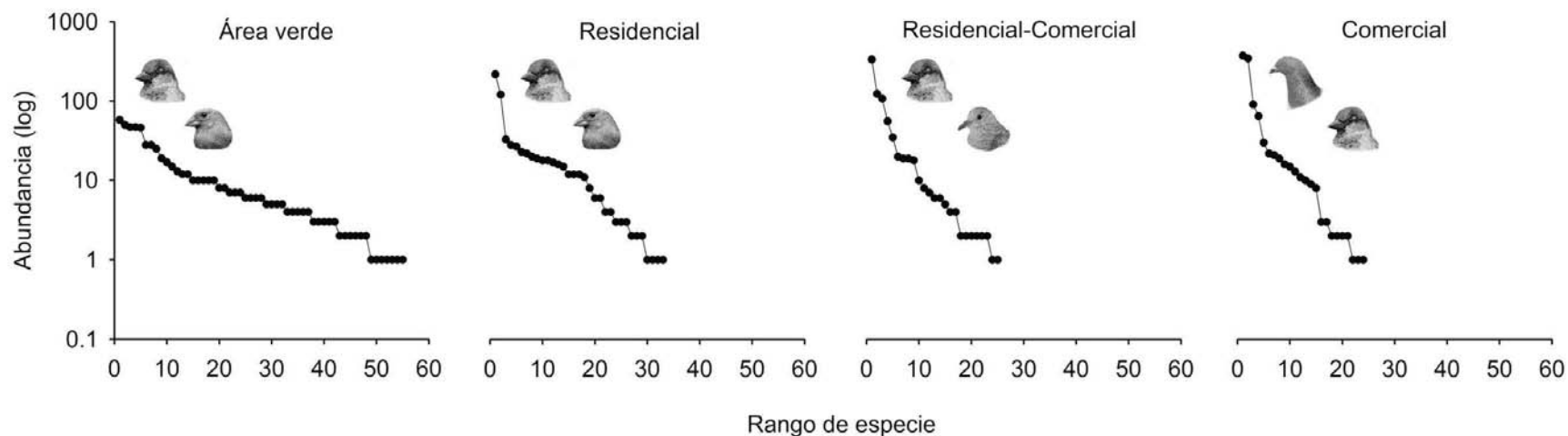
Figura 4. Patrón de diversidad (riqueza de especies y abundancia) de las comunidades de aves del suroeste de la ZMCM. La riqueza de especies de aves disminuyó conforme incrementó el grado de desarrollo urbano, mientras que la abundancia de aves aumentó. AV = área verde; RES = área residencial; R-C = área residencial-comercial; COM = área comercial.



3.4 Estructura (equitatividad / dominancia) de las comunidades de aves

El análisis de covarianza (ANCOVA) mostró que existe un efecto de las categorías de uso de suelo sobre la equitatividad / dominancia de las comunidades de aves del suroeste de la ZMCM ($F_{3, 131} = 15.36, P < 0.001$). El análisis *post-hoc* (Newman-Keuls) solo reveló diferencias significativas entre las áreas verdes y las áreas comerciales ($P = 0.034$). Las curvas de rango de especies / abundancia permitieron observar que la pendiente de regresión se pronuncia conforme el área exhibe mayor nivel de urbanización (Fig. 5). Así, las áreas verdes exhibieron la mayor equitatividad, mientras que las áreas comerciales mostraron la mayor dominancia. Ya que no se observaron diferencias significativas entre las áreas residenciales, residencial-comerciales y el resto de las categorías, los resultados de este trabajo sugieren que estas conforman la sección intermedia de un gradiente de urbanización al cual responde la estructura de las comunidades de aves muestreadas.

Figura 5. Curvas de rango de especies / abundancia de las categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM. Las curvas de rango de especies / abundancia sugieren que la equitatividad disminuye con respecto a la intensidad de urbanización. El gorrión común (*Passer domesticus*) dominó en las áreas verdes, residenciales y residenciales-comerciales. En las áreas comerciales, la paloma doméstica (*Columba livia*) fue la especie dominante. El pinzón mexicano (*Carpodacus mexicanus*) y la tórtola cola larga (*Columbina inca*) representaron la segunda especie dominante en áreas verdes, áreas residenciales y áreas residencial-comerciales. Las figuras incluidas en cada gráfica representan la primera (arriba) y la segunda (abajo) especies dominantes en cada categoría de uso de suelo.



3.5 Similitud taxonómica (recambio de especies) de las comunidades de aves

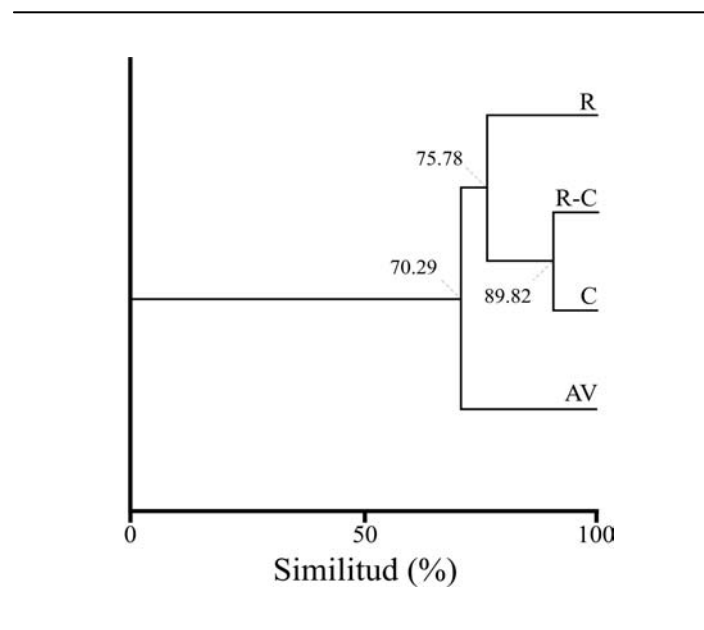
El coeficiente de Jaccard mostró que la composición de especies de las comunidades de aves del suroeste de la ZMCM es muy similar en áreas con presencia de establecimientos comerciales (áreas comerciales y residencial-comerciales). Con respecto a las áreas verdes, la composición taxonómica más similar corresponde a la comunidad de las áreas residenciales, seguida por un valor muy similar para áreas comerciales y residencial-comerciales. Así, la similitud taxonómica, medida como el coeficiente de Jaccard, mostró que las categorías de uso de suelo urbano conforman un gradiente que aplica para las comunidades de aves de la ZMCM, ya que las áreas verdes exhibieron mayor similitud con respecto a las áreas residenciales, y a su vez éstas últimas comparten una mayor proporción taxonómica con respecto a las áreas residencial-comerciales y comerciales (Cuadro 5).

El análisis de agrupaciones de Bray-Curtis mostró un patrón que sustenta los resultados del análisis de recambio de especies. La mayor similitud (agrupación más similar) fue la de áreas comerciales y áreas residencial-comerciales puesto que exhiben un número reducido de especies que a su vez son muy similares entre sí. La categoría de uso de suelo más similar a esta agrupación es la residencial. Por último, las áreas verdes exhibieron mayor similitud con respecto a las áreas residenciales que en relación con la agrupación conformada por áreas comerciales y áreas residencial-comerciales (Fig. 6).

Cuadro 5. Matriz de recambio de especies en las diferentes categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM. El coeficiente de Jaccard mostró que las categorías con mayor similitud taxonómica son la comercial y la residencial-comercial, mientras que las áreas verdes exhibieron las mayores disimilitudes con respecto a ellas. A su vez, el área residencial exhibió mayor similitud con respecto a las áreas verdes, que en relación con las áreas comerciales y residencial-comerciales.

	Coeficiente de Jaccard (% de similitud)			
	Área verde	Residencial	Res.-Com.	Comercial
Área verde	-			
Residencial	58.09	-		
Res.-Com.	38.57	68.46	-	
Comercial	36.52	57.48	71.27	-

Figura 6. Análisis de agrupaciones de similitud taxonómica de aves para las categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM. Las áreas comerciales y residencial-comerciales forman la agrupación más similar. Si bien las áreas residenciales son similares estructuralmente a las áreas comerciales y residencial-comerciales, exhibieron mayor similitud taxonómica con respecto a las áreas verdes. Estos resultados coinciden con los obtenidos para el análisis de recambio de especies. R = área residencial; R-C = área residencial-comercial; C = área comercial, AV = área verde. Los valores situados cerca de cada nodo representan el valor de similitud del mismo.



3.6 Composición y proporciones tróficas de las comunidades de aves

Un total de cinco grupos alimenticios fueron registrados en las categorías de uso de suelo urbano estudiadas (frugívoros, granívoros, insectívoros, nectarívoros y omnívoros), con excepción de las áreas verdes, en donde se registró un grupo más, el carnívoro. Debido a que este último grupo estuvo únicamente representado por el verdugo americano (*Lanius ludovicianus*), el grupo carnívoro fue considerado con una sola categoría de tamaño. Las especies frugívoras exhibieron dos agrupaciones de tamaño: (1) *Ptilogonys cinereus*; y (2) *Turdus assimilis*, *T. rufopalliatus* y *T. migratorius*. Las especies omnívoras mostraron cuatro agrupaciones de tamaño: (1) *Passer domesticus*; (2) *Melanerpes formicivorus*, *Pipilo fuscus* y *Molothrus aeneus*; (3) *Cyanocitta stelleri*, *Aphelocoma ultramarina* y *Columba livia*; y (4) *Quiscalus mexicanus*. Las especies nectarívoras exhibieron dos agrupaciones de tamaño: (1) *Amazilia beryllina*, *Cyananthus latirostris*, *Hylocharis leucotis* y *Diglossa baritula*; y (2) *Lampornis clemenciae*. El grupo alimenticio de especies granívoras incluyó cuatro categorías de tamaño: (1) *Carduelis pinus*, *Oriturus superciliosus*, *Melopiza melodia*, *Loxia curvirostra*, *Junco phaeonotus*, *Carpodacus mexicanus*, *Buarremon virenticeps* y *Atlapetes pileatus*; (2) *Carduelis psaltria*; (3) *Pipilo maculatus*, *Pheucticus melanocephalus* y *Columbina inca*; y (4) *Dendrortyx macroura*. Por último, las especies insectívoras se agruparon en cuatro categorías de tamaño: (1) *Basileuterus belli* y *B. rufifrons*; (2) *Regulus satrapa*, *Sitta pygmaea*, *S. carolinensis*, *Psaltriparus minimus*, *Troglodytes aedon*, *Poecile sclateri*, *Myioborus miniatus*, *Ergaticus ruber*, *Empidonax occidentalis*, *E. fulvifrons*, *E. sp.*, *Thryomanes bewickii*, *Tachycineta thalassina*, *Peucedramus taeniatus* y *Certhia americana*; (3) *Icterus abeillei*, *Contopus pertinax*, *Myadestes occidentalis*, *Hirundo rustica*, *Picoides scalaris* y *Catharus occidentalis*; y (4)



Toxostoma curvirostre, *Tyrannus vociferans*, *Picoides villosus*, *Melanotis caerulescens*
(Cuadro 6).

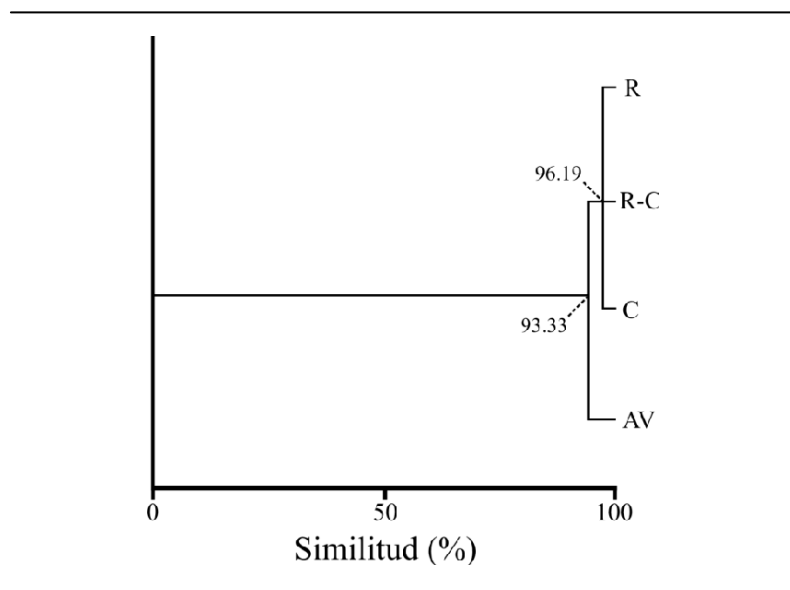
El análisis multivariado de agrupaciones mostró que la composición de las diferentes categorías de tamaño de los grupos alimenticios de aves es muy similar en áreas urbanizadas (áreas comerciales, residencial-comerciales y residenciales; Fig. 7). Sin embargo, las áreas verdes y la agrupación de áreas altamente urbanizadas (áreas comerciales, residencial-comerciales y residenciales) exhibieron una clara diferencia. Este resultado difiere con respecto a los resultados obtenidos para la riqueza de especies, abundancia, equitatividad / dominancia y recambio de especies.

Cuadro 6. Categorías de tamaño de los diferentes grupos alimenticios de las comunidades de aves del suroeste de la ZMCM. La abundancia de cada grupo se presenta como el resultado de la sumatoria de las abundancias de todas las especies incluidas en la categoría de grupo alimenticio.

Grupo alimenticio ¹	Abundancias de aves en las diferentes categorías de uso de suelo urbano			
	Área verde	Residencial	Res-Com.	Comercial
Carnívoro	4	0	0	0
Frugívoro 01	3	15	4	0
Frugívoro 02	43	51	27	31
Granívoro 01	95	155	126	96
Granívoro 02	46	23	19	19
Granívoro 03	36	32	126	67
Granívoro 04	4	0	0	0
Insectívoro 01	8	0	0	0
Insectívoro 02	124	47	19	41
Insectívoro 03	24	20	37	30
Insectívoro 04	7	13	3	2
Nectarívoro 01	50	52	31	22
Nectarívoro 02	7	3	2	1
Omnívoro 01	58	218	335	346
Omnívoro 02	30	43	11	28
Omnívoro 03	16	17	56	375
Omnívoro 04	47	0	2	10

¹ Los números que suceden al grupo alimenticio representan la categoría de tamaño obtenida del análisis de agrupaciones (de forma ascendente).

Figura 7. Análisis de agrupaciones de las diferentes categorías de tamaño de los grupos alimenticios de aves registradas en el suroeste de la ZMCM. Contrario a lo esperado, las áreas comerciales, áreas residencial-comerciales y áreas residenciales contienen un conjunto de categorías de tamaño de grupos alimenticios prácticamente idéntico, mientras que estos exhibieron diferencias con respecto a las áreas verdes. R = área residencial; R-C = área residencial-comercial; C = área comercial, AV = área verde. Los valores situados cerca de cada nodo representan el valor de similitud del mismo.



3.7 Efecto de las características del hábitat sobre la diversidad de las comunidades de aves

El análisis de regresión múltiple mostró que la riqueza de especies de aves del suroeste de la ZMCM está relacionada significativamente con cuatro variables: (1) cobertura arbustiva (positivamente); (2) altura arbustiva (positivamente); (3) altura máxima de plantas herbáceas (positivamente); y (4) número de automóviles / min (negativamente; Cuadro 7). La abundancia total de individuos de aves exhibió relación con solo dos variables: (1) número de transeúntes / min (positivamente); y (2) número de automóviles / min (negativamente; Cuadro 8a). La abundancia de especies nativas mostró relación con tres variables: (1) altura arbustiva (positivamente); (2) riqueza arbórea (positivamente); y (3) número de automóviles / min (negativamente; Cuadro 8b). Por último, la abundancia de especies exóticas (paloma doméstica y gorrión común) mostró relación con tres variables: (1) abundancia arbórea (negativamente); (2) número de transeúntes / min (positivamente); y (3) número de automóviles / min (negativamente; Cuadro 8c).

Cuadro 7. Análisis de relación entre las variables de los hábitats urbanos y la riqueza de especies de aves del suroeste de la ZMCM. Con excepción del número de automóviles / min, todas las variables que están relacionadas con la riqueza de especies de aves corresponden al componente vegetal.

Modelo general	R = 0.57	$F_{4, 153} = 18.82$		P < 0.001
	Beta	Error Std.	t (153)	P
Intercepto			4.894203	0.000002
Cobertura arbustiva	0.225197	0.078045	2.885441	0.004473
Altura arbustos	0.173033	0.073243	2.362427	0.019413
Altura máxima herbáceas	0.190036	0.076477	2.484868	0.014036
Número de automóviles / min	-0.265371	0.071034	-3.735806	0.000263

Cuadro 8. Análisis de relación entre las variables de los hábitats urbanos y la abundancia de especies de aves del suroeste de la ZMCM. La abundancia total exhibió relación significativa con dos variables humanas (a). Lo anterior aparenta ser un artefacto de la abundancia de dos especies exóticas que conforman casi el 50% de la abundancia total. Este fenómeno puede apreciarse con base en las variables con las que exhibió relación la abundancia de las especies exóticas (c). La extracción de las especies exóticas del análisis revela que el número de automóviles / min está negativamente relacionado con la abundancia de especies nativas, mientras que la altura arbustiva y la riqueza arbórea muestran una relación positiva (b).

(a) Abundancia total

Modelo general	R = 0.36	$F_{2, 155} = 11.67$	P < 0.001	
	Beta	Error Std.	t (155)	P
Intercepto			8.839081	0.000000
Número de transeúntes / min	0.391779	0.081163	4.827046	0.000003
Número de automóviles / min	-0.168676	0.081163	-2.078236	0.039335

(b) Abundancia de especies nativas

Modelo general	R = 0.49	$F_{3, 154} = 17.07$	P < 0.001	
	Beta	Error Std.	t (154)	P
Intercepto			1.287594	0.199818
Riqueza arbórea	0.161904	0.080089	2.021545	0.044955
Altura máxima arbustiva	0.314038	0.079911	3.929843	0.000128
Número de automóviles / min	-0.256326	0.069985	-3.662596	0.000342

(c) Abundancia de especies exóticas

Modelo general	R = 0.47	$F_{3, 154} = 15.02$	P < 0.001	
	Beta	Error Std.	t (154)	P
Intercepto			3.262767	0.001358
Abundancia arbórea	-0.157608	0.073830	-2.134727	0.034365
Número de transeúntes / min	0.469937	0.077123	6.093328	0.000000
Número de automóviles / min	-0.161865	0.078704	-2.056629	0.041409

4. Discusión

Los resultados de este trabajo muestran que la riqueza de especies de aves varía entre los distintos tipos de uso de suelo urbano del suroeste de la ZMCM. Ya que las categorías de uso de suelo elegidas para este trabajo representan un gradiente de urbanización, los resultados sugieren que la riqueza de especies disminuye conforme el grado de urbanización aumenta. Este patrón es similar a lo reportado para otras ciudades del norte de Norteamérica y Europa (Emlen 1974, Beissinger y Osborne 1982, Nosedal 1987, Clergeau *et al.* 1998, McKinney 2002, Melles *et al.* 2003) y podría deberse a tres factores principales. Primero, los distintos tipos de uso de suelo urbanos exhiben gran variación ambiental (Sukopp 1998), lo que pudiera explicar el decremento en el número de especies registradas. Segundo, el tipo de recursos que las aves utilizan se reduce a lo largo de los gradientes de urbanización (Blair 2004), por lo que muchas especies nativas podrían ser incapaces de satisfacer sus necesidades y por tanto podrían extinguirse localmente. Tercero, el incremento de la contaminación ambiental y del disturbio antropogénico en áreas con componentes comerciales genera condiciones que pocas especies son capaces de tolerar (McKinney 2002).

A diferencia del patrón encontrado para la riqueza de especies de aves, la abundancia de aves del suroeste de la ZMCM incrementó en áreas con mayor grado de urbanización. Este patrón también concuerda con lo reportado en otras investigaciones (e.g. Emlen 1974, Beissinger y Osborne 1982, Mills *et al.* 1989, Clergeau *et al.* 1998, Shochat 2004, Chace y Walsh 2006, MacGregor-Fors *et al. en prensa*). Dicho incremento de la abundancia de aves responde básicamente a la representación de las especies



explotadoras urbanas (principalmente exóticas). Estas especies se ven beneficiadas por la disminución en el riesgo de depredación y el aumento en la cantidad de alimento disponible (Shochat 2004), fenómenos asociados al incremento del grado de urbanización. De esta manera, las áreas comerciales constituyen el hábitat idóneo para el crecimiento poblacional de este tipo de especies.

Las comunidades de aves exhibieron menor equitatividad a lo largo del gradiente urbano representado por diferentes tipos de uso de suelo. Este patrón sugiere que el aumento en el grado de urbanización resulta benéfico únicamente para ciertas especies, principalmente especies explotadoras urbanas tales como el gorrión común y la paloma doméstica (Blair 1996, Melles *et al.* 2003, Turner 2003, Lim y Sodhi 2004). Lo anterior parece estar explicado por la reducción en la complejidad del hábitat y la alteración de las interacciones entre las distintas especies de aves (Morneau *et al.* 1999).

La composición taxonómica de las comunidades de aves también varió entre las distintas categorías de uso de suelo del suroeste de la ZMCM. Ya que el recambio de especies puede ser producto de la variación en la complejidad del hábitat (Gill 2007), los resultados de este trabajo sugieren que la homogeneidad taxonómica, definida como la similitud espacial y temporal de las características taxonómicas de biotas diferentes (Olden y Poff 2003), existe en las categorías de uso de suelo que contienen componentes comerciales. Lo anterior está estrechamente relacionado con la pérdida de especies nativas como producto de la simplificación del hábitat.

La composición trófica también exhibió diferencias entre las categorías de uso de suelo. Las áreas comerciales, residencial-comerciales y residenciales fueron muy semejantes entre sí y difirieron en gran medida de las áreas verdes. El grupo conformado por las áreas con alto desarrollo urbano (áreas comerciales, residencial-comerciales y residenciales) solo albergó a ciertas especies con preferencias alimenticias y tamaños corporales similares. Este patrón pudiera ser resultado de la limitada variedad de recursos que estos tipos de uso de suelo brindan a las aves. Ya que en éstos hábitats el tipo de alimento puede ser, aunque abundante, poco diverso (Faeth *et al.* 2005), se esperaría que la competencia por un mismo recurso fuera más intensa entre las especies del grupo alimenticio que lo consume (Gill 2007). Por otro lado, las especies de las áreas verdes mostraron preferencias alimenticias y tamaños corporales diversos, lo cual sugiere que estos hábitats ofrecen mayor cantidad y calidad de recursos inmersos en un hábitat con mayor complejidad vegetal. Por tanto, a diferencia de lo que se observó en las áreas verdes, la disminución de la complejidad vegetal en las áreas comerciales, residencial-comerciales y residenciales del suroeste de la ZMCM, deriva en un patrón de homogeneización funcional de las comunidades de aves.

La riqueza de especies y la abundancia de las comunidades de aves al suroeste de la ZMCM se relacionaron con diversos atributos urbanos. La riqueza de especies mostró relación positiva con la cobertura arbustiva, la altura máxima arbustiva y con la altura máxima de plantas herbáceas. Esto concuerda con lo reportado en estudios de ecología urbana llevados a cabo en los Estados Unidos de América, Canadá y el occidente de México (Gavareski 1976, Melles *et al.* 2003, MacGregor-Fors 2008). Particularmente, la abundancia de arbustos altos ofrece recursos y condiciones disponibles para gran variedad



de especies de aves (Savard *et al.* 2000, Fernández-Juricic *et al.* 2001). Las hierbas de gran altura, además de beneficiar a una amplia gama de especies que se alimentan de semillas (MacGregor-Fors 2008), podrían fungir como importantes sitios de nidificación y de refugio ante el estrés urbano para aquellas especies que no se alimentan de granos. Por otro lado, el número de automóviles mostró relación negativa con la riqueza de especies. Lo anterior parece estar relacionado con el ruido, las colisiones y la contaminación, todos ellos producto de la actividad de los automóviles (Chace y Walsh 2006), lo cual limita la presencia de muchas especies de aves al suroeste de la ZMCM.

La abundancia de especies exóticas incrementó ante la presencia de un número más elevado de transeúntes. Tal relación podría deberse a que los individuos de dichas especies aumentan sus probabilidades de encontrar alimento al incrementarse el número de personas presentes a su alrededor. La convivencia con el ser humano no es problema para las especies exóticas europeas puesto que su capacidad para tolerar la presencia humana en las ciudades ha sido producto de más de 500 años de adaptación (McClure 1989). En cambio, es sólo a partir de la mitad del siglo pasado cuando las ciudades en México crecieron exponencialmente, lo cual representa un período de tiempo muy corto para que las especies nativas desarrollen la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones que el sistema urbano impone. Por otro lado, el aumento de la abundancia arbórea y del número de automóviles por minuto mostró relación con el decremento de la abundancia de especies exóticas. Esto sugiere que la abundancia arbórea podría limitar el acceso a grandes cantidades de alimento y a sitios de nidificación adecuados a éste tipo de especies. Además, como lo es para el resto de las especies de aves, el aumento en la cantidad de

automóviles representa un riesgo para las poblaciones de especies exóticas (Chace y Walsh 2006).

La abundancia de especies nativas del suroeste de la ZMCM mostró relación positiva con la altura arbustiva y la riqueza arbórea. Esto podría deberse a que los arbustos más altos les brindan mayor protección contra el estrés climático y el disturbio antropogénico. Por otro lado, la presencia de diferentes especies de árboles posiblemente incrementa la variedad de recursos que distintos individuos (aún de la misma especie) podrían utilizar, disminuyendo así la competencia por un mismo recurso y facilitando la convivencia de un mayor número de individuos de especies nativas en el área. Finalmente, al igual que lo observado para la abundancia de especies exóticas, la amenaza que representa un número elevado de automóviles reduce la cantidad de individuos de especies nativas presente en las distintas categorías de uso de suelo urbano.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que las comunidades de aves del suroeste de la ZMCM se ven afectadas por el tipo de uso de suelo. Observé que conforme el grado de urbanización aumenta: (1) la riqueza de especies y la equitatividad de la comunidad disminuyen; (2) la abundancia de ciertas especies aumenta; y (3) las comunidades de aves están dominadas por unas cuantas especies, generalmente omnívoras y/o granívoras. Cabe resaltar la presencia de dos patrones pobremente reportados para otros sistemas urbanos: (1) conforme aumenta el grado de urbanización, las comunidades de aves tienden a ser taxonómicamente homogéneas; y (2) las comunidades de aves son funcionalmente homogéneas en áreas con alto desarrollo urbano (áreas residenciales, residencial-comerciales y comerciales). Así, este trabajo demuestra que la urbanización no sólo provoca la homogeneización taxonómica de las comunidades de aves, sino que además puede derivar en su homogeneización funcional.

Si bien el ser humano suele transformar su medio perjudicando a numerosas especies, también puede hacerlo para beneficiarlas. Ante el grave deterioro ambiental que provocan los asentamientos humanos, es necesario implementar actividades de manejo del paisaje urbano que lo hagan compatible con la conservación de la naturaleza, con base en estudios ecológicos particulares para cada ciudad. Ya que las comunidades de aves responden rápidamente a la disponibilidad de hábitats adecuados (Gill 2007), el manejo del paisaje urbano del suroeste de la ZMCM podría favorecer el incremento de la diversidad de las comunidades de aves que aloja. Así, con base en los resultados de esta tesis sugiero seis actividades de manejo y planeación de áreas urbanas que permitirán mantener y promover

la riqueza y abundancia de especies de aves nativas que habitan en el suroeste de la ZMCM: (1) regular los cambios de uso de suelo urbano, considerando la importancia de crear áreas verdes urbanas; (2) aumentar el número de áreas verdes en la ciudad; (3) llevar a cabo acciones de reforestación urbana tras haber evaluado y seleccionado diferentes especies nativas de árboles y arbustos que brinden diversos recursos a las especies de aves nativas; (4) procurar que, dentro de las áreas verdes, el componente vegetal contenga el mayor número de estratos (arbóreo alto, arbóreo bajo, arbustivo, herbáceo); (5) incrementar la cobertura vegetal urbana mas allá de las áreas verdes (e.g. camellones, jardines residenciales) con la finalidad de conectar las distintas áreas verdes urbanas entre sí, y con respecto a las áreas naturales ubicadas fuera de la ciudad; y (6) establecer programas de monitoreo de las comunidades de aves urbanas con la finalidad de identificar aquellas áreas de la ciudad que requieran de actividades de manejo del paisaje urbano.

6. Literatura Citada

- Aguilar, A. 2004. Procesos metropolitanos y grandes ciudades: dinámicas recientes en México y otros países. H. Cámara de Diputados, Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Miguel Ángel Porrúa, México, D.F.
- American Ornithologists' Union. 1998. The A.O.U. Check-list of North American Birds, Seventh Edition. American Ornithologists' Union, Washington, D.C.
- Arellano, M. y P. Rojas. 1956. Aves acuáticas migratorias en México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C., México, D.F.
- Arriaga, L., J. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coord.). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Beissinger, S. R. y D. R. Osborne. 1982. Effects of urbanization on avian community organization. *Condor* **84**: 75-83.
- BirdLife International. 2008. The BirdLife checklist of the birds of the world with conservation status and taxonomic sources. <<http://www.birdlife.org/datazone/species/index.html>>
- Blair, R. B. 1996. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications* **6**:506-519.
- Blair, R. B. 1999. Birds and butterflies along an urban gradient: Surrogate taxa for assessing biodiversity? *Ecological applications* **9**:164-170.
- Blair, R. B. 2001a. Birds and butterflies along urban gradients in two ecoregions of the United States: Is urbanization creating a homogeneous fauna? Pp. 33-56 *en* J. M.

- Marzluff, R. Bowman, y R. Donnelly, editores. Avian conservation and ecology in an urbanizing world. Kluwer Academic, Boston, MA.
- Blair, R. B. 2001b. Creating a homogeneous avifauna. Pp. 459-486 en J. M. Marzluff, R. Bowman, y R. Donnelly, editores. Avian conservation and ecology in an urbanizing world. Kluwer Academic, Boston, MA.
- Blair, R. B. 2004. The effects of urban sprawl on birds at multiple levels of biological organization. *Ecology and Society* **5**:2.
- Bowman, R. y J. M. Marzluff. 2001. Integrating avian ecology into emerging paradigms in urban ecology. Pp. 569-578 en J. M. Marzluff, R. Bowman, y R. Donnelly, editores. Avian conservation and ecology in an urbanizing world. Kluwer Academic, Boston, MA.
- Bray, J. R. y J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs* **4**:325-349.
- Bull, J. y J. Farrand. 1997. National Audubon Society field guide to North American birds - eastern region. Alfred A. Knopf, New York.
- Ceballos, G. y L. Márquez. 2000. Las aves de México en peligro de extinción. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Chace, J. F. y J. J. Walsh. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning* **74**: 46-69.
- Chao, A. y T. Shen. 2003. Program SPADE: Species Prediction And Diversity Estimation. <http://chao.stat.nthu.edu.tw/softwareCE.html>.
- Clergeau, P., J. P. L. Savard, G. Mennechez, y G. Falardeau. 1998. Bird abundance and diversity along an urban-rural gradient: A comparative study between two cities on different continents. *Condor* **100**: 413-425.

- Crooks, K. R., A. V. Suarez, y D. T. Bolger. 2004. Avian assemblages along a gradient of urbanization in a highly fragmented landscape. *Biological Conservation* **115**: 451-462.
- Czech, B., P. R. Krausman, y P. K. Devers. 2000. Economic associations among causes of species endangerment in the United States. *BioScience* **7**:593-601.
- Dunn, J. y J. Alderfer. 2006. Field guide to the birds of North America. National Geographic Society, Washington D.C., USA.
- Dytham, C. 1999. Choosing and using statistics. Blackwell Science, Londres.
- Emlen, J. T. 1974. An urban bird community in Tucson, Arizona: derivation, structure, regulation. *Condor* **76**: 184-197.
- Faeth, S. H., P. S. Warren, E. Shochat, y W. A. Marussich. 2005. Trophic dynamics in urban communities. *BioScience* **5**:399-407.
- Fernández-Juricic, E., M. D. Jimenez, y E. Lucas. 2001. Bird tolerance to human disturbance in urban parks of Madrid (Spain): Management implications. Pp. 259-273 en J. M. Marzluff, R. Bowman, y R. Donnelly, editores. *Avian conservation and ecology in an urbanizing world*. Kluwer Academic, Boston, MA.
- Fisher, J. y R. T. Peterson. 1977. *World of birds*. Crescent Books, New York, USA.
- Flores, O. y P. Geréz. 1994. Biodiversidad y conservación en México: Vertebrados, vegetación y uso de suelo. Ediciones Técnico Científicas, México, D.F.
- Garza, G. 2002. Evolución de las ciudades mexicanas en el siglo XX. Datos, Hecho y Lugares **19**: 7-16.
- Gavareski, C. A. 1976. Relation of park size and vegetation to urban bird populations in Seattle, Washington. *Condor* **78**: 375-382.
- Gill, F. 2007. *Ornithology*. W.H. Freeman and Company, New York, USA.



- González-García, F. y H. Gómez de Silva. 2003. Especies endémicas: Riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. Pp. 150-194 *en* H. Gómez de Silva, y A. Oliveras de Ita, editores. Conservación de aves: experiencias en México. CONABIO, CIPAMEX, National Fish and Wildlife Foundation, México, D.F.
- Gotelli, N. y R. Colwell. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* **4**: 379-391.
- Grimm, N. B., J. M. Grove, S. T. A. Pickett, y C. L. Redman. 2000. Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. *BioScience* **7**:571584.
- Hostetler, M. 1999. Scale, birds, and human decisions: A potential for integrative research in urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning* **45**: 15-19.
- Howell, S. N. G. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press, Oxford.
- Hruska, K. 2006. Notes on the evolution and organization of the urban ecosystem. *Urban Ecosystems* **9**: 291-298.
- Huff, M. H., K. A. Bettinger, M. L. Ferguson, M. J. Brown, y B. Altman. 2000. A habitat-based point-count protocol for terrestrial birds, emphasizing Washington and Oregon. U.S. Department of Agriculture, Portland.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2006. Cuaderno estadístico de la Zona Metropolitana del Valle de México. <www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem06/estatal/df/m001/index.htm>
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. 2006. IUCN Red List of Threatened Species. <<http://www.iucnredlist.org/>>.
- Ipsen, D. 1998. Ecology as urban culture. Pp. 302-306 *en* J. Breuste, H. Feldmann, y O. Uhlmann, editores. Urban Ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

- Jaccard, P. 1912. The distribution of the flora in the alpine zone. *New Phytologist* **2**:37-50.
- James, F. y S. Rathbun. 1981. Rarefaction, relative abundance, and diversity of avian communities. *The Auk* **98**: 785-800.
- Jokimäki, J. y E. Huhta. 2000. Artificial nest predation and abundance of birds along an urban gradient. *Condor* **102**: 838-847.
- Jokimäki, J. y J. Suhonen. 1998. Distribution and habitat selection of wintering birds in urban environments. *Landscape and Urban Planning* **39**: 253-263.
- Kark, S., A. Iwaniuk, A. Schalimtzec y E. Banker. 2007. Living in the city: Can anyone become an "urban exploiter"? *Journal of Biogeography* **34**: 638-651.
- Kendle, T. y S. Forbes. 1997. *Urban nature conservation*. E & FN Spon, United Kingdom.
- Koleff, P., K. J. Gaston, y J. J. Lennon. 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology* **72**: 367-382.
- Lepczyk, C.A., C.H. Flather, V.C. Radeloff, A.M. Pidgeon, R.B. Hammer y A.J. Liu. *En prensa*. Human impacts on regional avian diversity and abundance. *Conserv. Biol.*
- Lim, H. C. y N. S. Sodhi. 2004. Responses of avian guilds to urbanization in a tropical city. *Landscape and Urban Planning* **66**: 199-215.
- Lockwood, J. L., T. M. Brooks, y M. L. McKinney. 2000. Taxonomic homogenization of the global avifauna. *Animal Conservation* **3**: 27-35.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, y E. Duhau. 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning* **55**: 271-285.
- MacGregor-Fors, I. 2008. Relation between habitat attributes and bird richness in a western Mexico suburb. *Landscape and Urban Planning* **1**: 92-98.

- MacGregor-Fors, I., L. Morales-Pérez, y J. E. Schondube. *En prensa*. From forests to cities: Effects of urbanization on subtropical mountain bird communities. *Studies in Avian Biology*.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Martínez, L. 1991. Las áreas verdes de la Ciudad de México. Pp. 283-338 *en* I. López-Moreno, editores. *El arbolado urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México, D.F.
- Marzluff, J. M., R. Bowman, y R. Donnelly. 2001. A historical perspective on urban bird research: Trends, terms, and approaches. Pp. 1-17 *en* J. M. Marzluff, R. Bowman, y R. Donnelly, editores. *Avian conservation and ecology in an urbanizing world*. Kluwer Academic, Boston, MA.
- Marzluff, J. M. y K. Ewing. 2001. Restoration of fragmented landscapes for the conservation of birds: A general framework and specific recommendations for urbanizing landscapes. *Restoration Ecology* **3**:280-292.
- McClure, H. 1989. What characterizes an urban bird. *Journal of the Yamashina Institute for Ornithology*. **2**: 178-192.
- McKinney, M. L. 2002. Urbanization, biodiversity and conservation. *BioScience* **10**:883-890.
- Melles, S., S. Glenn, y K. Martin. 2003. Urban bird diversity and landscape complexity: species environment association along a multiscale habitat gradient. *Conservation Ecology* **1**:5.
- Melles, S. J. 2005. Urban bird diversity as an indicator of human social diversity and economic inequality in Vancouver, British Columbia. *Urban Habitats* **3**: 25-48.

- Miller, J. R., J. M. Fraterrigo, N. T. Hobbs, D. N. Theobald, y J. A. Wiens. 2001. Urbanization, avian communities, and landscape ecology. Pp. 117-137 *en* J. M. Marzluff, R. Bowman, y R. Donnelly, editores. Avian conservation and ecology in an urbanizing world. Kluwer Academic, Boston, MA.
- Mills, G. S., J. B. Dunning, y J. M. Bates. 1989. Effects of urbanization on breeding bird community structure in Southwestern desert habitats. *Condor* **91**: 416-428.
- Moll, G. 1997. America's urban forests: Growing concerns. *American Forests* **103**:14-18.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, Zaragoza.
- Morneau, F., R. Decarie, R. Pelletier, D. Lambert, J. L. DesGranges, y J. P. L. Savard. 1999. Changes in breeding bird richness and abundance in Montreal parks over a period of 15 years. *Landscape and Urban Planning* **44**: 111-121.
- Mörtberg, U. 2001. Resident bird species in urban forests remnants: Landscape and habitat perspectives. *Landscape Ecology* **16**:193-203.
- Nocedal, J. 1987. Las comunidades de pájaros y su relación con la urbanización en la Ciudad de México. Pp. 73-109 *en* E. Rapoport, y I. López-Moreno, editores. Aportes a la ecología urbana de la Ciudad de México. Editorial Limusa, México, D.F.
- Nolan, H. 2005. Urban Ecology: History and practice. B.S. Thesis, Boston College, Boston.
- Olden, J. D., M. E. Douglas, y M. R. Douglas. 2005. The human dimensions of biotic homogenization. *Conservation Biology* **6**:2036-2038.
- Olden, J. D. y N. Poff. 2003. Towards a mechanistic understanding and prediction of biotic homogenization. *The American Naturalist*. **4**: 442-460.

- Orduña, C. 2005. Contribución de los vertebrados terrestres en los ecosistemas que soportan los servicios ambientales de la Reserva Especial de la Biosfera Mariposa Monarca. Capítulo X *en* J. Benavides, F. Becerra, T. Hernández, C. González, y G. Flores, editores. Contribución al estudio de los servicios ambientales. INIFAP-SAGARPA, México.
- Partecke, J., I. Schwabl, y E. Gwinner. 2006. Stress and the city: Urbanization and its effects on the stress physiology in European Blackbirds. *Ecology* **8**:1945-1952.
- Percevia Field Guides. 2007. Field Guide to Bird of North America. <http://identify.whatbird.com/mwg/_/0/attrs.aspx>
- Peterson, R. y E. Chalif. 2000. Aves de México: Guía de campo. Editorial Diana, México, D.F.
- Peterson, A. T. y A.G. Navarro. 2006. Hundred-year changes in the avifauna of the Valley of Mexico City, Distrito Federal, Mexico. *Huitzil* **7**: 4-14.
- Peterson Multimedia Guides. 1996. North American Birds (CD ROM) Version 3.1. Houghton Mifflin Interactive, New York.
- Pickett, S., W. Burch, S. Dalton, T. Foresman, J. Morgan, y R. Rowntree. 1997. A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas. *Urban Ecosystems* **1**:185-199.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. 2003. Informe anual 2003. <www.paot.org.mx>
- Ralph, C. J., S. Droege, y J.R. Sauer. 1995. Managing and monitoring birds using point counts: Standards and applications. United States Department of Agriculture, E.U.A.

- Ralph, C. J., G. R. Geupel, P. Pyle, T. E. Martin, D. F. DeSante, y B. Milá. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. U.S. Department of Agriculture, Albany.
- Rocha, M. A. 2006. La situación ambiental del espacio megalopolitano de la Ciudad de México. *Economía Informa* **339**: 64-79.
- Rojas, E. 2004. Los desafíos de un continente urbano: La acción del BID en desarrollo urbano. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D.C.
- Rzedowski, G. y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán.
- Savard, J. L., P. Clergeau, y G. Mennechez. 2000. Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning* **48**: 131-142.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, 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- Segunda Sección- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.
- Shochat, E. 2004. Credit or debit? Resource input changes population dynamics of city-slicker birds. *Oikos* **3**:622-626.
- Sibley, D. A. 2001. *The Sibley Guide to Birds*. Alfred A. Knopf, New York.
- Statistica. 2001. Statistica version 6.0. StatSoft, Inc., USA.

- Sukopp, H. 1998. Urban ecology: Scientific and practical aspects. Pp. 3-16 *en* J. Breuste, H. Feldmann, y O. Uhlmann, editores. Urban Ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Toledo, V. 1994. La diversidad biológica de México: Nuevos retos para la investigación en los noventas. *Ciencias* **34**:43-59.
- Townend, J. 2002. Practical statistics for environmental and biological scientists. John Wiley and Sons Ltd., England.
- Turner, W. R. 2003. Citywide biological monitoring as a tool for ecology and conservation in urban landscapes: The case of the Tucson Bird Count. *Landscape and Urban Planning* **65**: 149-166.
- Turner, W. R., T. Nakamura, y M. Dinetti. 2004. Global urbanization and the separation of human from nature. *BioScience* **6**:585-590.
- United Nations. 2003. World urbanization prospects: The 2003 Revision. United Nations, New York.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, y J. M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* **277**: 494-499.
- Wilson, R. y H. Ceballos-Lascurain. 1993. The birds of Mexico City. BBC Printing and Graphics Ltd., Ontario.
- Wittig, R. 1998. Urban development and the integration of nature: reality or fiction? Pp. 593-599 *en* J. Breuste, H. Feldmann, y O. Uhlmann, editores. Urban Ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.