



# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y  
TECNOLÓGICAS

---

POSGRADO EN BIOCIENCIAS

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE AVES  
EN UN ECOSISTEMA URBANO EN EL  
DESIERTO SONORENSE

TESIS

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN BIOCIENCIAS

Presenta:

KARINA JOHNSTON LOPEZ

Hermosillo, Sonora, México

Octubre de 2014

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

**UNIVERSIDAD DE SONORA**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS**

**POSGRADO EN BIOCENCIAS**

**ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE AVES EN UN  
ECOSISTEMA URBANO EN EL DESIERTO SONORENSE**

**T E S I S**

Para obtener el grado de  
**MAESTRO EN BIOCENCIAS**

Presenta:

**KARINA JOHNSTON LÓPEZ**

Hermosillo, Sonora.

**Octubre 03 del 2014**

## APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis titulada **Estructura de la Comunidad de Aves en un Ecosistema Urbano en el Desierto Sonorense**, presentada por **Karina Johnston López**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Biociencias con especialidad en Ecología y Sustentabilidad en Zonas Áridas.



---

Dra. Reyna Amanda Castillo Gámez  
Co-Directora de Tesis y  
Presidente del Jurado



---

Dr. Alberto Macías Duarte  
Director de Tesis y  
Sinodal Externo



---

Dr. José Raúl Romo León  
Sinodal Interno y  
Secretario del Jurado

## **DEDICATORIA**

A mis padres **Federico Johnston Fernández** y **Karina López Badilla** por guiarme, no solo estos 2 años, sino todos los años en los que han lidiado conmigo. Estoy donde estoy gracias a la formación y educación que ustedes me dieron.

A mí adorado esposo **Zahid Iran Rangel Paz** por recorrer conmigo este camino y por impulsarme a ser mejor día con día. Agradezco mucho tu paciencia sobre todo en aquellos momentos en que la tesis ocupó mucho de mi tiempo y esfuerzo.

A mis hermanos **Pricila Johnston López** y **Federico Johnston López** porque siempre he podido contar con ellos.

Al único que estuvo, literalmente, a mi lado todos los días de arduo trabajo, sin importar mi humor ni mi falta de atención, gracias mi adorado **Chapo**.

Finalmente quiero dedicarle este trabajo a nuestro “bump” del cual nos enteramos faltando ocho meses para terminar la maestría.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mí querida **Universidad de Sonora** por darme la oportunidad estudiar Biología, ciencia que apasionadamente disfruto y por permitirme continuar con mi formación como Maestra en Ciencias.

A mi director de tesis y amigo **Dr. Alberto Macías Duarte** por confiar en mi desde el primer momento en que me aparecí por su “cubículo” solicitando guía y ayuda. Aprecio mucho tu incondicional apoyo los dos años que me tomo terminar la Maestría. Agradezco que hayas compartido tantas horas y conocimiento conmigo. Sin tu guía este trabajo de tesis no hubiera sido posible y estaré eternamente agradecida contigo por eso.

A la **Dra. Reyna Amanda Castillo Gámez** y al **Dr. José Raúl Romo León** por compartir conmigo sus conocimientos y comentarios tan valiosos, que espero los vean reflejadas en el producto final.

A mis ayudantes de campo más valiosos, mi compañero **Rubén Roberto Valle Salinas** y, de nuevo, mi queridísimo hermano **Federico Johnston López**. A ambos les agradezco tantos días de despertarse temprano, aguantar a mi lado los calores de verano, y más que nada les agradezco aguantarme a mí.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>APROBACIÓN</b>	i
<b>DEDICATORIA</b>	ii
<b>AGRADECIMIENTO</b>	iii
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	iv
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	xi
<b>ÍNDICE DE APÉNDICES</b>	xii
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	1
I.1 Antecedentes	3
I.2 Avifauna urbana	4
I.3 Tendencias en las comunidades de aves urbanas	9
I.3.1 Homogenización taxonómica	9
I.3.2 Diversidad vs. Abundancia	10
I.3.3 Características intrínsecas de las especies	11
I.4 Justificación	13
I.5 Hipótesis	14
<b>II OBJETIVO</b>	15
II.1 Objetivos específicos	15
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b>	16
III.1 Área de estudio	16
III.2 Clasificación urbana	16
III.3 Muestreo de aves	18

III.4	Censo de características ambientales	20
III.5	Abundancia y diversidad de aves	22
III.6	Características de historia de vida de las especies	23
III.7	Análisis de datos	23
III.7.1	Prueba del modelo nulo en <i>EcosimR</i>	23
III.7.2	Estimación de densidad en <i>DISTANCE</i>	26
III.7.2.1	Variación espacial de las especies	27
III.7.3	Tamaño de muestra	28
III.7.4	Análisis de asociación por <i>Fourth Corner</i>	28
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS</b>	30
IV.1	Clasificación urbana del área de estudio	30
IV.2	Tamaño de muestra	30
IV.3	Composición de la avifauna	34
IV.4	Densidad poblacional	44
IV.5	Estructura de la comunidad	66
IV.5.1	Prueba de hipótesis nula	66
IV.5.2	Análisis de asociación	67
<b>V</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	78
<b>VI</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	83
<b>VII</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	84
<b>VIII</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	85
<b>IX</b>	<b>APÉNDICES</b>	93



## RESUMEN

Se condujo un muestreo de distancia de transectos de punto de la avifauna urbana en Hermosillo, Sonora con el fin de determinar que especies componen la comunidad de aves de la ciudad y caracterizar su variación espacial según distintos niveles de impacto urbano. En cada punto de conteo se realizó un levantamiento de las características urbanas (tipo de uso de suelo y cobertura vegetal) para determinar el grado de asociación entre la distribución de las especies detectadas y las características ambientales, según las características de historia de vida de las especies. De marzo a agosto del año 2013 se muestrearon 240 sitios distribuidos aleatoriamente dentro de la ciudad y sus alrededores; cada punto se visitó en tres ocasiones. Se identificaron 72 especies de aves, incluyendo seis especies introducidas. Se identificó que tres especies exóticas representan el 41% de la comunidad, y que los individuos pertenecientes al orden Columbiformes representan el 40% de la comunidad de aves de la ciudad. Se observó que la abundancia de aves es mayor al incrementar el impacto urbano y que la diversidad de especies es mayor al disminuir el impacto urbano. El análisis entre las características ambientales y las características de historia de vida de las especies detectadas identificó que las especies de tamaño corporal grande (100-500 g), las especies que se alimentan exclusivamente de semillas, y las especies con un comportamiento altamente social se asocian positivamente con hábitats urbanos en el Desierto Sonorense.

## **ABSTRACT**

We conducted a distance sampling by point count of the urban avifauna in Hermosillo, Sonora in order to determine which species make up the urban bird community and to characterize their spatial variation according to different levels of urban impact. At each sampling plot we performed a survey of the urban characteristics (type of land use and land cover percentage) to determine the degree of association between each detected species' distribution and the environmental characteristics, according to the life history characteristics of each species. From March to August 2013, we sampled 240 randomly distributed sites within the city and its surroundings; we visited each plot three times. We identified 72 bird species, including six non-native species. Only three of the non-native species represent 41% of the urban community, and the individuals of the order Columbiform represent 40% of the bird community in Hermosillo. We observed that the bird abundance increased with the increasing urban impact, and that species diversity increased with the decreasing urban impact. With the analysis between the environmental characteristics and the life history characteristics of each bird species we detected that large bodied species (100-500 gr), species that feed exclusively on seeds and species with a highly social behavior are positively associated with urban habitats.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	<i>Streptopelia decaocto</i> anidando en un poste de electricidad en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	7
2	Aspecto general de los cuadrantes de muestreo según su nivel de urbanización.	17
3	Diagrama de un muestreo por distancia por puntos de conteo.	18
4	Cuadrícula de 1 km <sup>2</sup> sobre la ciudad de Hermosillo con niveles de urbanización asignados.	31
5	Estimación del tamaño de muestra.	32
6	Colocación de los 240 puntos de muestreo.	33
7	Tendencia de la abundancia y diversidad de las especies según varía el nivel de impacto urbano.	38
8	Grupo de especies identificadas en la ciudad de Hermosillo y sus alrededores.	39
9	Grupo de especies identificadas en el nivel de impacto urbano de 0-29%.	40
10	Grupo de especies identificadas en el nivel de impacto urbano de 30-59%.	41
11	Grupo de especies identificadas en el nivel de impacto urbano de 60-89%.	42
12	Grupo de especies identificadas en el nivel de impacto urbano de 90-100%.	43
13	Variación espacial de la densidad de <i>Columba livia</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	50

14	Variación espacial de la densidad de <i>Streptopelia decaocto</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	51
15	Variación espacial de la densidad de <i>Zenaida asiática</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	52
16	Variación espacial de la densidad de <i>Zenaida macroura</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	53
17	Variación espacial de la densidad de <i>Columbina inca</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	54
18	Variación espacial de la densidad de <i>Cynanthus latirostris</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	55
19	Variación espacial de la densidad de <i>Melanerpes uropygialis</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	56
20	Variación espacial de la densidad de <i>Tyrannus verticalis</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	57
21	Variación espacial de la densidad de <i>Auriparus flaviceps</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	58
22	Variación espacial de la densidad de <i>Campylorhynchus brunneicapillus</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	59
23	Variación espacial de la densidad de <i>Polioptila melanura</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	60
24	Variación espacial de la densidad de <i>Chondestes grammacus</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	61
25	Variación espacial de la densidad de <i>Cardinalis sinuatus</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	62
26	Variación espacial de la densidad de <i>Quiscalus mexicanus</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	63
27	Variación espacial de la densidad de <i>Haemorhous mexicanus</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	64

28	Variación espacial de la densidad de <i>Passer domesticus</i> durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.	65
29	Distribución de muestreo generada mediante simulaciones en <i>EcoSimR</i>	66
30	Proporción de individuos según su tamaño corporal.	76
31	Proporción de individuos según su estrategia alimenticia.	77
32	Proporción de individuos según sus hábitos sociales.	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Escala Beaufort de Viento.	21
2	Escala de Cielo.	21
3	Características intrínsecas de las especies y sus categorías.	25
4	Especies de aves identificadas en los muestreos.	35
5	Estadísticos de los índices de Shannon-Wiener.	44
6	Cantidad de individuos identificados y sus detecciones por especie.	45
7	Estimaciones de densidad de las especies según el nivel de urbanización.	48
8	Características intrínsecas para cada especie identificada	68

## ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice		Página
1	Puntos visitados por muestreo y sus coordenadas.	93
2	Características de las funciones de detección y sus estimaciones.	100
3	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>C. livia</i>	101
4	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>S. decaocto</i> .	101
5	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>Z. asiatica</i> .	102
6	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>Z. macroura</i> .	102
7	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada <i>C.inca</i> .	103
8	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>C. latirostris</i> .	103
9	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>M. uropygialis</i> .	104
10	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>T. verticalis</i> .	104
11	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>A. flaviceps</i> .	105
12	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>C. brunneicapillus</i> .	105
13	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>P. melanura</i> .	106

14	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>C. grammacus</i> .	106
15	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>C. sinuatus</i> .	107
16	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>Q. mexicanus</i> .	107
17	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>H. mexicanus</i> .	108
18	Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para <i>P. domesticus</i> .	108
19	Gráfica de relaciones entre las características intrínsecas de las especies y las variables ambientales obtenidas mediante el análisis <i>Fourth Corner</i> .	109



## I. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

Según las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), entre el año 2011 y 2050, la población mundial aumentara de 7.0 a 9.3 billones de individuos (ONU, 2011). La población urbana se incrementará por 2.6 billones, pasando de 3.6 billones en el año 2011 a 6.2 billones de habitantes en el año 2050 (ONU, 2011). Debido a lo anterior, es necesaria una constante expansión de las áreas urbanas para poder albergar la creciente población humana.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó que, durante el periodo de 1993–2002, 2.8 millones de hectáreas de vegetación natural fueron transformadas a zonas urbanas y rurales (SEMARNAT, 2011). A este proceso de “construcción de ciudades” se le conoce como urbanización (Gottdiender y Hutchinson, 2006). La urbanización trae consigo procesos de conversión, degradación y fragmentación de los hábitats naturales (McDonnell y Pickett, 1990; Pennington y Blair, 2012). Este proceso transforma una gran diversidad de ecosistemas naturales a ciudades, las cuales son ambientes muy semejantes a lo largo del mundo (Savard *et al.* 2000; Clergeau *et al.* 2001; McKinney 2006; Croci *et al.* 2008; Aronson *et al.* 2014), ya que contienen edificios, calles pavimentadas y otras estructuras antropogénicas.

El cambio en la biota como producto de la urbanización es masivo e impredecible (McDonnell y Pickett, 1990; Chance y Walsh, 2004; McKinney, 2008; Fuller *et al.* 2009; Miller *et al.* 2001; Hostetler, 2001). Para algunos organismos, la expansión urbana implica nuevas fuentes de alimento o sitios de resguardo, pero para otros, la urbanización puede significar la aparición de nuevos depredadores y competencia, o recursos insuficientes (Marzluff, 2001; Blair, 2001; Shochat, 2004). Estos nuevos factores influyen en cómo se estructuran las comunidades de fauna dentro de las ciudades.

El problema esencial de la ecología de comunidades es predecir la estructura de una comunidad (Weiher, 2004). La creación de nuevas áreas urbanas ha sido considerada como un “experimento natural”, el cual ha permitido probar diferentes hipótesis sobre la estructuración

de comunidades de fauna silvestre en zonas urbanas (Emlen, 1974). Este “experimento” gana relevancia entre mayor sea la diferencia entre la nueva área urbana y las condiciones naturales circundantes, tal es el caso de ciudades en zonas áridas. Las ciudades establecidas en desiertos pueden llegar a producir un “efecto oasis” (Rosenberg *et al.* 1987; Bock *et al.* 2008), ya que los recursos naturalmente escasos de los ambientes áridos (sombra, sitios de resguardo, agua, entre otros) pueden llegar a ser bastante abundantes en las zonas urbanas.

Desde 1940 existe un creciente interés por estudiar la respuesta de las aves ante los efectos del desarrollo urbano (Marzluff *et al.* 2001a). Las aves han captado la atención de una amplia comunidad de investigadores, no solo por su notable presencia, sino por su capacidad de permanecer en ambientes urbanos a diferencia de otros grupos animales (Pennington y Blair, 2012). Las aves han sido consideradas indicadores de impacto urbano, ya que son sensibles a los cambios del medio ambiente (Savard *et al.* 2000). Los estudios de aves urbanas han ayudado a revelar principios y aspectos generales que influyen sobre la estructura de una comunidad. El cambio producto de la urbanización es muy complejo, por lo que pueden ser varios los factores ambientales (parches con vegetación, competencia, depredadores domésticos o estructuras antropogénicas) que determinan cómo se estructura la comunidad de aves (Chance y Walsh, 2004). Otros factores que parecieran modular la estructura de una comunidad de aves urbanas son las características intrínsecas de las distintas especies (tamaño corporal, dieta, estrategia reproductiva, entre otras). Las características intrínsecas o de historia de vida de cada especie determinan cómo estas reaccionan ante los factores ambientales de las zonas urbanas (Dolédéc *et al.* 1996; Kark *et al.* 2007; Ikin *et al.* 2012).

## I.1. Antecedentes

Existe un creciente interés por descubrir los efectos de la urbanización sobre la comunidad de aves (Marzluff *et al.* 2001a; Pennington y Blair, 2012). Marzluff *et al.* (2001a) recopilaron 101 estudios elaborados entre los años 1940 y 2000 que tratan de explicar los efectos del desarrollo urbano sobre la avifauna.

El ambiente urbano, aunque esté compuesto por las mismas estructuras antropogénicas (calles, drenajes, parques, aeropuertos, cementerios, áreas verdes, edificios, entre otros), está formado por parches con distintos niveles de urbanización, los cuales pueden variar entre zonas agrícolas o campestres, áreas recreativas o residenciales, hasta parches completos de concreto y metal (McDonnell y Pickett, 1990; Marzluff *et al.* 2001a; Pennington y Blair, 2012). Estos “parches urbanos” son áreas con condiciones relativamente similares que podrían ser percibidas como favorables por ciertos organismos (Alberti *et al.* 2001; Bolger, 2001) y ser aprovechados por los mismos. Los parches urbanos forman un patrón distinto en cada ciudad, a este patrón se le ha llegado a conocer como gradiente urbano (McDonnell y Pickett, 1990). Marzluff *et al.* (2001a) y diversos autores (por ejemplo Alberti *et al.* 2001; Pennington y Blair, 2012; entre otros) recomiendan utilizar algún método de clasificación para cualificar el medio urbano y lograr estandarizar los estudios en zonas urbanas.

En este aspecto, Marzluff *et al.* (2001a) comentan que el 29% de los estudios que se analizaron, enfocaron su investigación en un solo nivel de urbanización, y solo el 8% de los estudios enfocaron su investigación en el mosaico urbano completo. Los autores explican que el 40% de los estudios analizados no aplican algún método para cuantificar o cualificar el medio urbano donde se realizaron.

La heterogeneidad espacial de un paisaje urbano puede ser descrita utilizando un “gradiente de urbanización” (Pennington y Blair, 2012). Para crear una aproximación de gradiente de urbanización (McDonnell y Pickett 1990) se deben comparar las características urbanas (calles, drenajes, parques, aeropuertos, cementerios, áreas verdes, edificios, entre otros) para crear una clasificación a manera de gradiente urbano-rural. McDonnell y Pickett (1990) propusieron que los estudios sobre fauna en ciudades se hicieran en base a diferentes categorías o gradientes de urbanización según las condiciones del medio. Esta metodología

llegó a homogenizar las bases de los estudios de fauna en zonas urbanas, haciendo posible comparar los resultados de distintos estudios. Desde que se propuso clasificar el entorno urbano en categorías según su nivel de urbanización o nivel urbano, el número de estudios de avifauna urbana se ha incrementado de manera estable.

Establecer un gradiente de urbanización permite comparar parches urbanos con distintos niveles de urbanización según un patrón métrico definido. Este método permite estudiar la variación urbana sin suponer que existe alguna variación descendiente continua en el nivel de urbanización desde un núcleo urbano hacia las periferias. El gradiente urbano, a diferencia de la creencia popular, no es la distancia o dirección hacia donde varía un parámetro o condición urbana (McDonnell y Pickett, 1990; Alberti *et al.* 2001; Warren y Lepczyk, 2012; Pennington y Blair, 2012). Cabe mencionar que en el gradiente urbano-rural, cualquiera de los criterios utilizados para clasificar el ambiente urbano y su uso pueden variar según el enfoque de cada estudio y las particularidades o patrón que forman los distintos niveles de urbanización (Marzluff *et al.* 2001a). Por lo mismo, es importante definir los criterios o características utilizadas para definir las categorías de impacto urbano (Pennington y Blair, 2012).

## **I.2. Avifauna urbana**

Durante la última década, la ecología urbana ha progresado substancialmente y ha sido tema de interés a nivel mundial. Y quizá, el área más notable de esta rama de la ecología sea la ecología de aves urbanas (Warren y Lepczyk, 2012).

Las aves son consideradas indicadores del impacto urbano ya que son bastante sensibles a los cambios ambientales y se distribuyen ampliamente dentro de las zonas urbanas (Savard *et al.* 2000; Villegas y Garitano-Zavala, 2008; Warren y Lepczyk, 2012). Se asume que a diferencia de otros grupos taxonómicos, la alta movilidad de las aves podría permitirles permanecer en sitios donde otros vertebrados han sido desterrados, y por lo mismo tener la capacidad de explotar sitios altamente fragmentados (Pennington y Blair, 2012). Las aves, en comparación a muchos otros grupos de animales, resultan fáciles de estudiar, ya que son relativamente sencillos de detectar e identificar. Dicho todo lo anterior, las aves son objetos

experimentales adecuados para explorar los efectos del cambio urbano y las respuestas a los distintos paisajes urbanos (Chance y Walsh. 2004).

El cambio producto de la urbanización es muy complejo e impredecible (McDonnell y Pickett, 1990; Chance y Walsh, 2004; McKinney, 2008; Fuller *et al.* 2009; Miller *et al.* 2001; Hostetler, 2001), por lo que puede estar acompañado por varias condiciones que podrían estar afectando de manera directa a las aves. Algunos cambios son (1) la disponibilidad de alimento, (2) la presencia de depredadores, (3) la presencia de competidores, (4) la aparición de nuevas enfermedades y (5) los cambios en el hábitat (Chance y Walsh. 2004; Marzluff, 2001). Para muchas especies, todos estos cambios o nuevos atributos, pueden significar una oportunidad de mejores condiciones de vida y por lo mismo ciertas especies permanecen dentro de las zonas urbanas, incluso explotan las nuevas condiciones. De esta manera varias especies, tanto nativas como no nativas, han llegado a desarrollar poblaciones muy densas y estables dentro de las zonas urbanas. Incluso, se ha observado que ciertas especies tienden a aumentar en densidad al incrementar el nivel urbano volviéndose incluso más abundantes que en su entorno natural (Blair 2001, Pennington and Blair 2012). Por otro lado, para muchas otras especies, los cambios y/o nuevos atributos del ambiente urbano generan nuevos factores limitantes, de manera que varias especies parecieran ser desplazadas por el avance de la urbanización.

Se han propuesto varias categorías para clasificar las diferentes respuestas de las especies ante el cambio urbano. A grandes rasgos, la clasificación consiste en tres grupos de especies, las especies que explotan los recursos urbanos, las especies que las toleran y las especies que evaden o evitan las zonas urbanas. Las especies que explotan los recursos urbanos suelen ser aquellas que optan por habitar áreas urbanas, que parecieran preferir los recursos antropogénicos (Johnston, 2001; McKinney, 2006) y por lo mismo pueden llegar a ser más abundantes en zonas urbanas que en su medio natural (Marzluff y Rodewald, 2008). Las especies que toleran las condiciones urbanas, son aquellas que pueden llegar a aprovechar tanto áreas urbanas como zonas naturales, de manera que no dependen de las nuevas condiciones urbanas, sino que aprenden a vivir bajo las nuevas condiciones (McKinney, 2006; Marzluff y Rodewald, 2008). Las especies tolerantes suelen permanecer en zonas urbanas donde persisten condiciones similares a las del entorno natural o sitios donde se han

conservado parches sin impacto urbano, y en zonas con un nivel de urbanización bajo o medio. Finalmente, las especies que evitan las zonas urbanas son aquellas sensibles a la presencia de personas o a las condiciones urbanas que prefieren mantenerse alejadas de la civilización (Marzluff y Rodewald, 2008). Las especies evasoras suelen ser especies nativas que mantienen densidades estables fuera de los límites de las zonas urbanas.

Del conjunto de especies nativas que habitan una región determinada, destacan aquellas que logran adaptarse y permanecer cerca o dentro de las zonas urbanas, de las cuales existen numerosos ejemplos.

Una población nativa del correcaminos norteño (*Geococcyx californianus*) ha sido estudiada en Tucson, Arizona y se ha encontrado que son más abundantes cerca de los límites urbanos, donde el nivel urbano es moderado o bajo, y cerca de sitios donde se han conservado parches sin algún grado de urbanización (DeStefano y Webster 2012). Mencionan los autores que es muy poco probable encontrar correcaminos en los núcleos urbanos donde el nivel de urbanización tiende a ser mayor.

La urraca común (*Pica pica*) ha sido estudiada en varias ciudades de Polonia, de donde la especie es nativa. Jerzak, (2001) identificó que la población urbana de urracas incrementa su densidad tres veces más rápido que la población rural, lo cual significa que el éxito reproductivo de la urraca es mayor en zonas urbanas. El autor atribuye este éxito a que la especie ha encontrado favorables muchas de las condiciones urbanas. De hecho, menciona que estas aves han modificado su dieta y que la mayor parte de su alimento en zonas urbanas consiste en basura la cual obtienen de los contenedores de basura de zonas residenciales. Las conclusiones de Jerzak permiten clasificar a la urraca común como una especie nativa que ha aprendido a explotar las condiciones urbanas.

Otra especie que por su actual distribución puede ser catalogada como especie explotadora, es el cuervo americano (*Corvus brachyrhynchos*). Esta especie de cuervo ha sido estudiada en varias ciudades de Estados Unidos de donde es nativa. Se encontró que la abundancia de esta especie aumenta al incrementar el grado de urbanización (Marzluff *et al.* 2001b). Los autores mencionan que los cuervos que han permanecido en su entorno natural conservan una población estable, a diferencia de los cuervos que radican en las zonas urbanas cuyo número va drásticamente en aumento.

Existen varias especies no nativas al continente americano que tras haber sido intencionalmente liberadas en distintos sitios de Estados Unidos, han expandido su territorio y desarrollado poblaciones abundantes dentro de las zonas urbanas. En algunos estudios, las especies exóticas representan la mayor parte de los individuos registrados en zonas urbanas (Emlen, 1974; Clergeau *et al.* 1998; Crooks *et al.* 2004; González-Oreja *et al.* 2007; Perepelizin y Faggi. 2009). Algunas de las especies más notables son la paloma bravía (*Columba livia*), la tórtola turca (*Streptopelia decaocto*), el estornino pinto (*Sturnus vulgaris*) y el gorrión común (*Passer domesticus*).

La tórtola turca (*S. decaocto*) es una especie exótica recién introducida al continente americano. Aunque se cree que esta especie es nativa de India, actualmente se distribuye ampliamente por varias regiones del mundo (Figura 1). La tórtola fue liberada en las Bahamas durante 1970 y se estima que alrededor de 1980 llegó al continente americano. Actualmente hay reportes de esta especie en el sur de Canadá, a través de todo Estados Unidos (Bled *et al.*



Figura 1. Tórtola turca (*Streptopelia decaocto*) anidando en un poste de electricidad en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

2011) y México, hasta Centro América (Romagosa, 2012). Cabe mencionar que aún no hay reportes de la tórtola turca en Sudamérica (eBird, 2014). Su rápida y creciente distribución es atribuida a la continua expansión urbana (Crooks y Soule 1999). Estudios han demostrado que la tórtola turca se encuentra en hábitats que presentan algún nivel de urbanización (Johnston, 2001; Bonter *et al.* 2010) y que su distribución esta positivamente relacionada con la presencia de pavimento (Fujisaki *et al.* 2010).

La paloma bravía, el estornino pinto y el gorrión común, todas tienen historias y distribuciones similares. La paloma bravía (*C. livia*), fue introducida entre 1601-1700, lo que la hace la especie de ave exótica más antigua en suelo americano. Fue introducida por los colonos ingleses a las antiguas colonias costeras del Atlántico. Actualmente se distribuye alrededor de todo el continente americano, en Australia, Nueva Zelanda, Europa, Asia y mayor parte de las islas del Pacífico, Atlántico y océano Indico (Lowther y Johnston, 2014). Del estornino pinto (*S. vulgaris*), solo 100 ejemplares fueron deliberadamente introducidos al Parque Central de Nueva York en Estados Unidos, durante los años 1890 y 1891. La iniciativa fue patrocinada por una sociedad de aclimatación con el fin de introducir al parque todas las especies de aves mencionadas en las obras de William Shakespeare. Se pretendía controlar a la población dentro del Parque Central, sin embargo, esto fue posible solo por un corto periodo (Cabe, 1993). Finalmente, el gorrión común (*P. domesticus*), cuya introducción al continente también comenzó con 100 individuos liberados en Brooklyn, Nueva York durante 1851 y 1852, actualmente se distribuye alrededor de todo el mundo, y se sabe prefiere hábitats que han sido modificados por el hombre (Lowther y Cink. 2006).

En el estudio de Clergeau *et al.* (1998), se compararon las comunidades de aves urbanas de Quebec (Canadá) y Rennes (Francia), y se detectó que el gorrión común (*P. domesticus*), la paloma bravía (*C. livia*) y el estornino pinto (*S. vulgaris*) estaban presentes de manera abundante en ambas ciudades. Los autores listaron estas especies como no nativas en Quebec y como nativas en Rennes (por su conocida procedencia de Europa). En los sitios con un mayor nivel urbano de Quebec, estas tres especies introducidas representan el 90% de la comunidad de aves urbanas, mientras que en los sitios con un mayor nivel de urbanización de Rennes, estas tres especies no parecen dominar la comunidad de aves urbanas.



### **I.3. Tendencias en las comunidades urbanas de aves**

Tras años de investigación y monitoreo de aves urbanas, se han llegado a varias conclusiones: (1) las comunidades de aves urbanas a través del mundo se están homogenizando (Blair, 2001; Chance y Walsh, 2004; McKinney, 2006; Olden *et al.* 2006; Kark *et al.* 2007); (2) la diversidad de aves disminuye al aumentar el nivel de urbanización, mientras que su abundancia aumenta al aumentar el nivel de urbanización (Emlen, 1974; Mills *et al.* 1989; Marzluff, 2001; Hostetler, 2001; Warren y Lepczyk, 2012; MacGregor-Fors *et al.* 2012); y (3) los atributos o características intrínsecas de las especies modulan como las especies de aves responden ante las nuevas condiciones ambientales (Evans *et al.* 2011; Vesk, 2013).

#### **I.3.1. Homogenización taxonómica**

Conforme avanza la expansión urbana ocurre el fenómeno conocido como homogenización taxonómica. La homogenización taxonómica equivale al cambio gradual que se da en la comunidad de aves urbanas cuando la mayor parte de las especies nativas o evasoras de zonas urbanas son desplazadas por la urbanización (Blair, 2001; Chance y Walsh, 2004; McKinney, 2006; Olden *et al.* 2006; Kark *et al.* 2007), mientras que las especies tolerantes y las explotadoras de zonas urbanas expanden sus rangos de distribución y se vuelven cada vez más abundantes en las zonas urbanas (Olden y Rooney, 2006). Varias especies explotadoras de zonas urbanas son especies introducidas, por ejemplo *P. domesticus* y *C. livia*. Estas dos especies han logrado invadir zonas urbanas en todo el continente americano, y por lo mismo existe una creciente preocupación de que las comunidades de aves urbanas pudieran llegar a ser muy similares o estar constituidas por las mismas especies.

La preocupación generada alrededor de la homogenización taxonómica, con respecto a la pérdida de diversidad, llevó a la comunidad de ecólogos a preguntarse cómo podría identificarse realmente si existe o no una homogenización a nivel mundial. No fue hasta el año 2014 que un grupo extenso de investigadores liderado por Aronson propone una metodología para identificar una posible homogenización taxonómica a escala global. Estudios previos consistían en monitoreos o censos a nivel ciudad sin realmente comparar las

comunidades de aves entre las distintas zonas urbanas. El grupo de investigadores comparó las comunidades de aves de 54 ciudades de los seis continentes para determinar si existe una homogenización taxonómica a nivel mundial. La investigación consistió simplemente en muestrear varias ciudades alrededor del mundo y comparar las comunidades observadas. Sus resultados demostraron que realmente podría no existir una homogenización taxonómica a gran escala. Los resultados de Aronson *et al.* (2014) indican que (1) las comunidades de aves urbanas pueden contener especies exóticas en común muy abundantes, como lo han mencionado estudios anteriores, sin embargo cada ciudad retiene una composición única de especies; (2) las especies compartidas entre la mayoría de las comunidades son pocas; (3) la mayor parte de las especies que componen cada comunidad son especies locales que se adaptan o toleran las condiciones urbanas; y (4) en promedio las zonas urbanas cuentan con más especies de aves nativas, sugiriendo que realmente no existe una homogenización taxonómica.

### **I.3.2. Diversidad vs. Abundancia**

Gran parte de los estudios de aves en zonas urbanas han identificado patrones de abundancia y diversidad consistentes en relación a los distintos niveles de urbanización (Marzluff, 2001; Walker y Shochat, 2010; Warren y Lepczyk, 2012). Primero, la variación de la abundancia esta positivamente asociada a los niveles de urbanización (Hostetler, 2001; Melles *et al.* 2003; MacGregor-Fors *et al.* 2012). Segundo, la diversidad está negativamente asociada a los niveles de urbanización (Emlen, 1974; Mills *et al.* 1989; Clergeau *et al.* 1998; Hostetler, 2001; Melles *et al.* 2003; MacGregor-Fors *et al.* 2012).

Melles *et al.* (2003) examinaron la riqueza y la abundancia de aves urbanas en Vancouver y Burnaby (Canadá) y su relación con varios atributos urbanos, como la cobertura vegetal y el tipo de uso de suelo. Sus observaciones los llevaron a concluir que las especies responden a las variables del medio y al grado de urbanización, y por lo mismo mencionan que existe una interacción entre al grado de urbanización y la diversidad y abundancia de las especies. Concluyeron que el número de especies disminuye al incrementar el grado de urbanización, y

que el grupo de especies de zonas altamente urbanas está dominado por pocas especies muy abundantes.

Pocos estudios han llegado a una distinta conclusión sobre las tendencias de abundancia y diversidad en relación al nivel de urbanización. Chance y Walsh (2004) mencionan que en estudios donde los niveles de urbanización son finamente diferenciados, los niveles más altos de abundancia y diversidad se dan en niveles de urbanización intermedio (Blair, 1996; Crooks *et al.* 2004), esto es, en zonas suburbanas o agrícolas.

### **I.3.3. Características intrínsecas de las especies**

Cada ciudad contiene atributos o características propias (vegetación exótica o nativa, edificios, baldíos, entre otros) que estructuran las comunidades de la avifauna urbana. Sin embargo, cada especie de ave tiene preferencias según sus requerimientos ecológicos y sus características intrínsecas, por ejemplo estrato de reproducción y/o anidación, estrategia alimenticia, estrato de alimentación y hábito social. De esta manera, las características intrínsecas de las especies también actúan como agentes moduladores de las comunidades de aves urbanas (Dolédéc *et al.* 1996; Kark *et al.* 2007; Evans *et al.* 2011; Ikin *et al.* 2012; Vesk, 2013).

En este aspecto, Evans *et al.* (2011) estudiaron la respuesta de las especies al medio urbano según las características de historia de vida de las especies utilizando los datos del año 2006 del *Breeding Bird Survey* organizado por el *British Trust of Ornithology*. Sus resultados mostraron que la urbanización tiende a favorecer a las especies con dietas generalistas y a afectar negativamente a especies insectívoras y especies que anidan en el suelo. Otros autores han llegado a conclusiones similares. Emlen (1974) encontró que la urbanización tiende a desplazar a especies insectívoras y especies que anidan en cavidades mientras que favorece a especies que se alimentan de semillas, especies que buscan alimento en el suelo y aves que necesitan cuerpos de agua cerca de sus nidos. Kark *et al.* (2007) encontró que las especies que explotan las zonas urbanas tienden a ser especies muy sociales y que casi no hay especies estrictamente insectívoras.

Las especies reaccionan ante los atributos urbanos tanto a nivel regional como a nivel local (Melles *et al.* 2003). A nivel regional, varias áreas de una zona urbana pueden ser similares o estar clasificadas según una misma categoría de urbanización. Sin embargo, los atributos a nivel local son cruciales al momento de que una especie se relaciona con el medio urbano (Dolédéc *et al.* 1996; Melles *et al.* 2003; McCaffrey y Mannan, 2012). A nivel local, la presencia de vegetación nativa, un solo árbol o arbusto, puede significar la presencia de varias especies que utilizan dicha vegetación (McCaffrey y Mannan, 2012). Por lo anterior, los parches urbanos, a pesar de ser distintos en grandes escalas (1 km<sup>2</sup>), son aún más complejos a nivel local (1 ha o 10 m<sup>2</sup>). Estas diferencias entre escalas pueden significar la presencia o ausencia de ciertas especies de aves, según las necesidades y características de cada especie. Por ejemplo, Mennechez y Clergeau (2001) mencionan que la presencia de pasto hace que incremente la presencia de estorninos pintos (*S. vulgaris*), independientemente del grado de urbanización del área determinada, ya que el pasto es una fuente rica en insectos.

Ikin *et al.* (2012) realizaron un estudio donde relacionan las características intrínsecas de las aves y los componentes vegetales del medio previos a la urbanización. Encontraron que existe una relación entre el tipo de vegetación y las características de las aves. Mencionan que las especies que anidan en cavidades, especies insectívoras aéreas, especies carnívoras y especies de cuerpos medianos (>50 g) se relacionan con zonas sin o con poca cobertura de arbustos. También mencionan que las especies insectívoras que se alimentan en arbustos, especies que se alimentan de néctar y frutas, aves que anidan en follaje cerca del suelo y especies de cuerpos pequeños (<50 g) se relacionan con zonas con una alta cobertura de arbustos. Por otro lado, identificaron que las especies insectívoras que se alimentan en árboles y las especies que anidan en árboles se relacionan con zonas donde hay árboles, independientemente de la cobertura vegetal. Y que las especies que anidan y se alimentan en el suelo, y especies de cuerpos pequeños se relacionan con zonas donde no hay árboles, independientemente de la cobertura vegetal.

#### **I.4. Justificación**

Las ciudades son creadas con el fin de cumplir solamente con las necesidades del ser humano (McKinney, 2006). Con la rápida expansión urbana resulta relevante realizar estudios para identificar los atributos de las ciudades que promueven o excluyen la presencia de las especies nativas dentro de las mismas.

En este contexto, conocer los atributos urbanos y las características intrínsecas de las especies que habitan en estos entornos, particularmente ubicados en zonas áridas, permitirían identificar las acciones de manejo de hábitat que promuevan la permanencia de las especies nativas en las nuevas zonas urbanas.

El Desierto Sonorense cuenta con una notable riqueza de aves, por lo que realizar un estudio de la avifauna urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora, resulta altamente relevante. El estudio de esta comunidad de aves urbanas resulta aún más valioso, ya que existe una falta de conocimiento sobre la avifauna local.

## **I.5. Hipótesis**

El interés básico en ecología de comunidades es investigar los factores o interacciones que determinan la composición de una comunidad. De esta manera, el análisis inicial de una comunidad requiere la formulación de una hipótesis nula o modelo nulo (Strong, 1980).

La hipótesis nula del presente estudio es la siguiente. La comunidad de aves en la ciudad de Hermosillo es simplemente una muestra aleatoria de especies nativas y especies exóticas que han avanzado recientemente en sus áreas de distribución. La hipótesis se rechaza si las especies se distribuyen de acuerdo a ciertos procesos ecológicos que producen asociaciones positivas o negativas entre las especies individuales y el medio ambiente. Ante la posibilidad de que existan estas asociaciones y se rechaza la hipótesis nula, se exploraran las siguientes hipótesis.

Dada la aparición de nuevos factores y condiciones ambientales producto del cambio urbano, la comunidad de aves en la ciudad estará compuesta principalmente por especies:

- 1) con metabolismo rápido y tamaño corporal pequeño que necesitan de un suministro de alimento más continuo y predecible que el que se puede llegar a obtener en el medio natural.
- 2) con dietas generalistas, ya que no dependen de una fuente de alimento específica, que en su ausencia actuaría como recurso limitante.
- 3) con hábitos sociales, ya que compiten mejor con especies solitarias por los recursos del medio.

Cabe aclarar que estas hipótesis enmarcan este estudio de comunidades dentro del enfoque individualista de Gleason (1926), en el que las asociaciones entre especies coexistentes son simplemente el resultado de las similitudes en sus requerimientos y tolerancias. De esta forma, este estudio no fue diseñado para explorar la existencia de interacciones entre especies como procesos integradores dentro de la comunidad.

## **II. OBJETIVO**

Determinar la variación espacial de las especies que componen la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo, según un gradiente de urbanización.

### **II.1. Objetivos específicos**

- Determinar la densidad poblacional de las especies detectadas en la ciudad a través de distintos niveles de urbanización.
- Determinar el grado de asociación entre las especies detectadas y las características urbanas (nivel de urbanización, tipo de uso de suelo y cobertura vegetal), según las características de historia de vida de las especies.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **III.1. Área de estudio**

Hermosillo, Sonora (29°08'N, 110°96'O) cuenta con una población de 784,342 habitantes (INEGI, 2012). Se localiza en el noroeste de México a 270 km de la frontera con Estados Unidos y a 95 km del Golfo de California. Se sitúa a 211 m sobre el nivel del mar. Se ubica dentro del Desierto Sonorense, presentado un clima desértico cálido (BWh en la clasificación climática de Köppen, 1936, modificado por García). La ciudad recibe un promedio de 200 mm de precipitación al año y se registra una temperatura media anual de 25°C, aunque la temperatura sobrepasa los 40°C en el verano y puede ser inferior a los 0°C durante el invierno.

#### **III.2. Clasificación urbana**

Para definir los distintos niveles de urbanización a través de la ciudad, se recurrió a la cuadrícula de 1 km<sup>2</sup> definida por la red UTM sobre la ciudad de Hermosillo, Sonora y sus alrededores. A cada uno de los cuadros de 1 km<sup>2</sup> que conforman parte de la ciudad y sus alrededores se les asignó uno de cuatro niveles de urbanización: 0-29%, 30-59%, 60-89% y 90-100% (Figura 2). Los niveles de urbanización se calcularon a partir de imágenes satelitales de Google (2013) y el Inventario Nacional de Viviendas (INEGI, 2013), utilizando los porcentajes de cobertura de edificios (residenciales, comerciales, industriales), calles o áreas pavimentadas y sin pavimentar, y la vegetación en cada cuadrante.



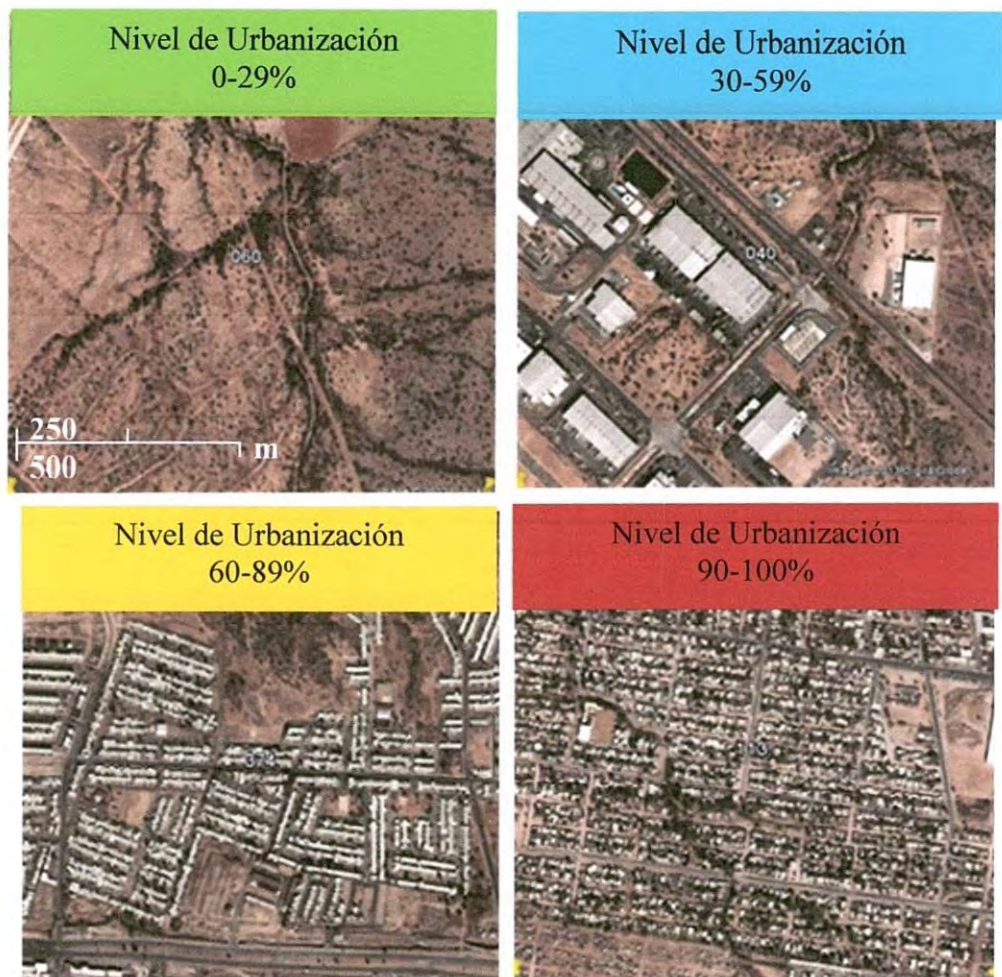


Figura 2. Aspecto general de los cuadrantes de muestreo según su nivel de urbanización.

### III.3. Muestreo de aves

Se utilizó el muestreo de distancia de transectos de punto (Buckland *et al.* 2001) ya que es un método ampliamente utilizado para estimar densidades (Bibby *et al.* 1996, Buckland *et al.* 2001, Gregory *et al.* 2004, Conroy y Carroll 2009) que toma en cuenta la detección imperfecta. El método básicamente consiste en contar individuos y medir la distancia de detección a partir de un punto fijo. Este tipo de muestreo resulta apropiado para muestreos en zonas urbanas (Figura 3; Ralph *et al.* 1998; Buckland *et al.* 2001).

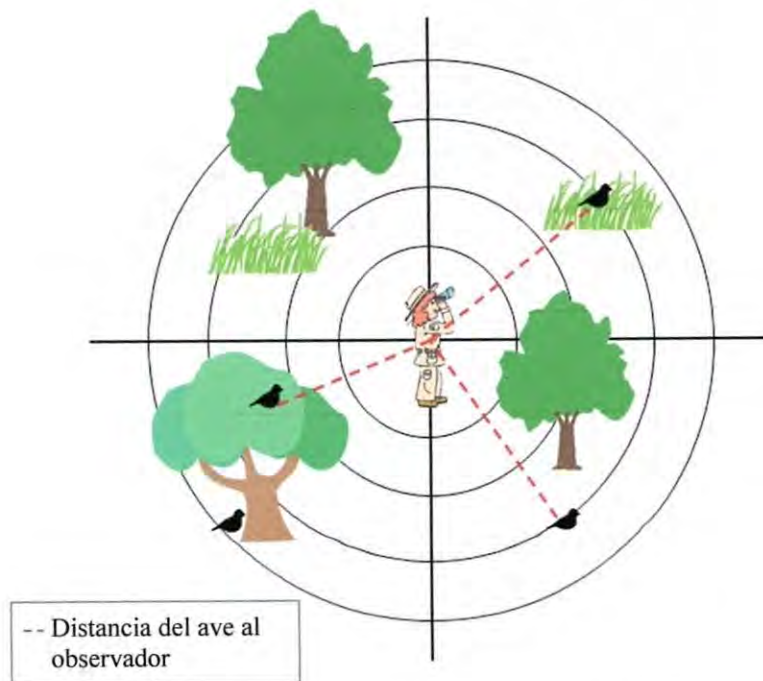


Figura 3. Diagrama de un muestreo por distancia de puntos de conteo.

Los conteos de aves se realizaron de marzo a agosto en el año 2013. El muestreo se condujo durante tres periodos: (1) marzo-abril, (2) mayo-junio y (3) julio-agosto. El plan de trabajo contempló 5 días por semana (lunes a viernes) para llevar a cabo los muestreos. Los días sábado y domingo se definieron como días sin muestreo programado para tener días

disponibles por si era necesario posponer un día de muestreo entre semana. Un día de muestreo era pospuesto si se presentaban condiciones de lluvia o vientos fuertes. Se designó un promedio de 35 días por periodo para muestrear, dejando 14 días entre periodos. Las fechas de visita a cada punto de muestreo fueron definidas de tal manera que las visitas ocurrieran en un orden distinto cada periodo.

Se establecieron cuatro puntos de muestreo por cuadrante (1 km<sup>2</sup>) los cuales fueron colocados aleatoriamente, bajo la condición de que se distanciaron al menos 400 m entre sí. Se condujo un muestreo de distancia de transectos de punto (Buckland *et al.* 2001) con 200 m de radio para cada punto de muestreo. Los muestreos se realizaron entre las 5:40 h y 9:30 h, después del amanecer y justo antes de que la temperatura subiera a más de 30°C. En cada punto de muestreo, la observación tuvo una duración de 8 minutos. Así, se visitaron entre 8 y 9 puntos de muestreo por día. Un equipo de dos personas realizó la colecta de datos, el observador (K. Johnston-López) y un ayudante. Las observaciones comenzaron una vez que el observador se colocaba en posición con ayuda de un GPS en el punto seleccionado. Las aves ahuyentadas durante la llegada del observador fueron registradas en su ubicación inicial. Todas las aves detectadas visualmente y por oído fueron registradas. Aquellas que volaban a través del punto de muestreo no fueron registradas ni consideradas en los análisis, excepto colibrís, los cuales volaban y se alimentaban sin perchar, y las aves rapaces que volaban rodeando el punto de muestreo (Buckland *et al.* 2001). Los organismos se registraron como individuos o grupos de individuos, también se registró la especie, el tamaño de grupo y la distancia a la que fueron detectados. Cada distancia se obtuvo utilizando un telémetro laser (Nikon® Prostaff Laser 440 Rangefinder). El observador realizó todos los avistamientos e identificaciones con ayuda de binoculares (10x42) y estuvo a cargo de obtener las distancias. En caso de no identificar en campo alguna especie, se registraban las características visibles del ave (tamaño, patrón de color, pico y comportamiento) para su posterior identificación. El asistente estuvo a cargo de cronometrar el tiempo y anotar los avistamientos y demás observaciones.

Durante el muestreo se nos fue negado el acceso a varios puntos de muestro, por lo tanto ciertos puntos de muestreo no fueron visitados por triplicado y no cuentan con tres repeticiones (Ver Apéndice 1). Cabe mencionar que hubo puntos de muestreo a los cuales se

nos negó definitivamente el acceso, por lo cual fue necesario reubicarlos desde el primer periodo de muestreo.

Las especies identificadas se nombraron y ordenaron taxonómicamente a través de todo el estudio, según el listado actualizado de la *Check-list of North American Birds* de *American Ornithologists' Union Online* (AOU, 2013). La AOU es una organización dedicada al estudio científico de las aves que a través de los años ha creado varias fundaciones científicas de ornitología con el fin de promover la conservación de las aves.

Se decidió omitir todas aquellas especies acuáticas/marinas detectadas en los límites de la ciudad. Estas especies fueron detectadas en muy pocas ocasiones y en sitios muy específicos con presencia de cuerpos de agua. Las especies omitidas se listan a continuación: *Charadrius vociferus*, *Bubulcus ibis*, *Nycticorax nycticorax*, *Phalacrocorax brasilianus* y *Larus heermanni*.

#### **III.4. Censo de características ambientales**

En cada uno de los puntos de muestro se llenó un formato de campo con información sobre las detecciones (especie, tamaño de grupo y distancia), las condiciones del clima y las características urbanas. La información meteorológica definida por punto de muestreo fueron la temperatura, el viento y la nubosidad. La temperatura ambiental se registró con un monitor digital AcuRite® de temperatura y humedad. Las condiciones de viento y nubosidad se definieron manejando la escala Beaufort de Viento (Tabla 1) y la escala de Cielo (Tabla 2) utilizadas por *The North America Breeding Bird Survey* (BBS, 2013). El uso de las escalas de viento y cielo se practicó previo a los muestreos para dominar su uso. Las condiciones climáticas afectan la actividad de las aves y por ende su probabilidad de detección (Bibby *et al.* 1996). Para reducir el error producto de las condiciones climáticas se pospusieron los muestreos al registrarse vientos fuertes (mayores a los 20 km h<sup>-1</sup>) o lluvia y/o neblina.

Se definió el tipo de uso de suelo en cada punto de muestreo: suelo baldío, calle principal área comercial, área deportiva, monte, transición suelo baldío-monte, monte con pendiente, parque, residencial pavimentado, transición residencial-monte o residencial sin pavimentar. Además, se estimó visualmente la cobertura vegetal de la parcela y se asignó uno de los

siguientes rangos de porcentaje de cobertura vegetal: 0-10%, 11-25%, 26-50%, 51-80% y 81-100%. Previo a los muestreos se practicó el definir el tipo de uso de suelo y estimar la cobertura vegetal con el fin de realizar registros acertados.

Tabla 1. Escala Beaufort de Viento.

<b>Escala Beaufort</b>	<b>Velocidad del Viento (km h<sup>-1</sup>)</b>
0 El humo se levanta verticalmente	< 2
1 La dirección del viento se aprecia en el humo	2-5
2 El viento se siente en la cara; las hojas se mueven ligeramente	6-12
3 Las hojas y ramas pequeñas están en constante movimiento	13-19
4 <sup>1</sup> Se levanta polvo o papel; las ramas en movimiento	20-29
5 <sup>1</sup> Los arboles pequeños se balancean, se aprecian ondas en cuerpos de agua	30-38

<sup>1</sup> El muestreo se pospone

Tabla 2. Escala de Cielo.

<b>Escala del Cielo</b>
0 Despejado o muy pocas nubes
1 Cielo variable; nubes dispersas
2 Nublado cubierto o discontinuo
4 <sup>1</sup> Neblina o humo denso
5 <sup>1</sup> Llovizna o lluvia ligera
7 <sup>1</sup> Nieve
8 <sup>1</sup> Lluvia

<sup>1</sup> El muestreo se pospone

### III.5. Abundancia y diversidad de aves

Se comparó la diversidad de las especies por pares de niveles de urbanización contiguos en el gradiente de urbanización (0-29% vs. 30-59%, 30-59% vs. 60-89% y 60-89% vs. 90-100%) usando el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ). El índice de Shannon-Wiener se calculó mediante la expresión (Jayaraman, 2000; Moreno, 2001):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

donde  $p_i$  es la proporción de individuos de la especie  $i$  del total de individuos detectados y  $S$  el número de especies. Se estimó la varianza muestral del índice de diversidad para cada nivel de urbanización mediante la fórmula (Jayaraman, 2000):

$$Var(H') = \frac{\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} + \frac{S - 1}{SN^2}$$

donde  $N$  es el número total de individuos. Se realizó una prueba  $t$  para comparar el índice de diversidad de Shannon-Wiener de los distintos niveles de urbanización usando el estadístico de prueba  $t$  de Student (Jayaraman, 2000):

$$t = \frac{|H_1 - H_2|}{\sqrt{Var(H_1) + Var(H_2)}}$$

Los grados de libertad ( $g.l.$ ) asociados a la distribución del estadístico  $t$  se calcularon mediante la expresión (Jayaraman, 2000; Moreno, 2001):

$$g.l. = \frac{[Var(H_1) + Var(H_2)]^2}{(Var(H_1))^2/N_1 + (Var(H_2))^2/N_2}$$

### III.6. Características de historia de vida de las especies

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para reunir las características de cada especie. Las características de las especie se obtuvieron de las cuentas individuales de la base de datos *The Birds of North America Online* (BNA, 2013). La BNA es un proyecto de *Cornell Lab of Ornithology* que consiste en una compilación exhaustiva de las historias de vida de las especies de aves que se reproducen en Norteamérica.

Se obtuvieron las características de historia de vida de las especies relevantes para someter a prueba las hipótesis. Estas características incluyen peso corporal, estrategia y estrato alimenticio, y hábito social. También se consideró relevante obtener covariables, incluyendo el promedio de huevos por anidada, estrato reproductivo, estrategia migratoria y su rango de distribución (Tabla 3). Las características definidas con valores numéricos (peso corporal, huevos por anidada y rango de distribución) fueron organizadas en rangos. El peso corporal se clasificó según los rangos de tamaño (muy pequeño, pequeño, mediano, grande y muy grande; Tabla 3) utilizados por Ikin *et al.* (2012).

### III.7. Análisis de datos

#### III.7.1. Prueba del modelo nulo en *EcoSimR*

Se realizó un análisis con el paquete *EcoSimR* (Gotelli y Ellison, 2013a; Gotelli y Ellison, 2013b) en R (R Development Core Team, 2011) para probar si la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo es una muestra aleatoria de especies. La prueba de modelo nulo permite probar hipótesis nulos (de no interacción) para detectar asociaciones entre especies. Para el análisis se consideraron todas las especies identificadas. La información se organizó para comparar cuantos individuos de cada especie fueron detectaron por cuadrante de 1 km<sup>2</sup>. Se generaron 1,000 simulaciones de comunidades aleatorias mediante el algoritmo “RA3” (Gotelli y Ellison, 2013b) para generar la distribución de muestreo del índice de traslape de nicho de Pianka ( $\bar{O}_{ij}$ , Gotelli y Ellison, 2013b) a través de todas las especies bajo la hipótesis nula de no interacción entre especies ( $H_0: \bar{O}_{ij} = \bar{O}_{ij}(\text{aleatorio})$ ,  $H_A: \bar{O}_{ij} \neq \bar{O}_{ij}(\text{aleatorio})$ ). La distribución de muestreo de  $\bar{O}_{ij}$  bajo la hipótesis nula se utilizó para determinar la

probabilidad de observar un estadístico de prueba  $\bar{O}_{ij}$  calculado a partir de la muestra observada, esto es, el valor  $P$  de la prueba.



Tabla 3. Características intrínsecas de las especies y sus categorías.

<b>Característica</b>	<b>Categoría</b>
Tamaño corporal	Muy pequeño (<20g) Pequeño (20-50g) Intermedio (51-100g) Grande (100-500g) Muy grande (> 500g)
Estrategia de alimentación	Carroña Insectos Insectos-semilla o fruta Néctar Omnívoro Rapaz Semillas Semillas-Fruta
Estrato de alimentación	Aéreo Corteza Follaje Suelo Suelo-Aéreo Suelo-Follaje
Habito social	Altamente social En parejas Poco social Solitario Solitario o altamente social Solitario o en parejas
Huevos por anidada	Menos de 3 huevos Entre 3 y 5 huevos Más de 5 huevos
Estrato de reproducción	Árbol Árbol-Arbusto Arbusto Cavidad Edificio Follaje Parasito Risco

Tabla 3. Características intrínsecas de las especies y sus categorías.

<b>Característica</b>	<b>Categoría</b>
Estrategia migratoria	Residente reproductor Reproductor de verano Migrante Residente reproductor no nativo
Rango de Distribución	Menor a 20 grados latitud Entre 20 y 30 grados latitud Entre 30 y 40 grados latitud Más de 40 grados latitud

### III.7.2. Estimación de densidad en *DISTANCE*

Se realizó un análisis en *DISTANCE* 6.0 publicación 2 (Thomas *et al.* 2010) para caracterizar la variación en la densidad poblacional de las especies detectadas en la ciudad y sus alrededores. Para el análisis se consideraron todas aquellas especies con más de 75 detecciones (Buckland *et al.* 2001). Los datos de las especies analizadas, sus detecciones y las distancias de detección se introdujeron al programa. Se le especifico al programa que un (1) observador solitario realizó los muestreos de tipo (2) transectos de punto, que se tomaron (3) distancias radiales (4) en metros (m), que las observaciones de aves se registraron en (5) grupos de individuos y que los análisis fueran calculados en (6) kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

El estimador de densidad ( $\hat{D}$ ) se calculó mediante la expresión (Buckland *et al.* 2001):

$$\hat{D} = \frac{n\hat{h}(0)\bar{s}}{2\pi k}$$

donde  $n$  es el total de detecciones,  $\hat{h}(0)$  es el estimador de la derivada de la función densidad de probabilidad de las distancias de detección evaluadas en cero, resultado directo de *DISTANCE*,  $\bar{s}$  el promedio de individuos por detección, y  $k$  el total de puntos muestreados. El

error estándar de la densidad  $EE(\hat{h}(0))$  se aproximó usando el método delta mediante la expresión (Buckland *et al.* 2001):

$$EE(\hat{D}) = \hat{D} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{Var(\hat{h}(0))}{\hat{h}(0)^2} + \frac{Var(\bar{s})}{\bar{s}^2}}$$

donde  $EE(\hat{h}(0))$  es también un resultado directo de *DISTANCE*, y  $Var(\bar{s})$  es la varianza muestral de los individuos por detección.

A los datos de cada especie analizada se le ajustaron 3 posibles funciones clave (media normal, tasa de riesgo y uniforme) cada una con tres ajustes de expansión (coseno, polinomio simple y polinomio de Hermite) y hasta cuatro términos para obtener  $\hat{h}(0)$  y  $SE(\hat{h}(0))$  en *DISTANCE*. Se excluyeron las distancias de detección inferiores al percentil 90 para reducir el impacto de los valores extremos y mejorar el ajuste a los modelos de funciones de detección. Se utilizó como función de detección al modelo con el menor valor de criterio de información de Akaike (AIC) (Ver Apéndice 2). Las curvas de las funciones de detección para las especies analizadas se muestran en los Apéndices 3-18.

### III.7.2.1. Variación espacial de las especies

Se estimó la densidad de cada especie de ave por nivel de urbanización y a nivel de cuadrante para obtener los mapas de distribución a través de la ciudad. Se elaboraron mapas de densidad a través del área de estudio interpolando linealmente las estimaciones de densidad de los cuadrantes usando la técnica de distancia invertida ponderada (IDW; Cressie, 1992) en ArGis (ESRI, 2011). En ambos casos se utilizaron los datos de los tres periodos de muestreo como repeticiones. Las repeticiones se utilizaron para estimar la varianza del número de detecciones, las cuales posteriormente fueron utilizadas para estimar la varianza global de densidad (Buckland *et al.* 2001). La representación gráfica de densidad de las especies analizadas permitirá encontrar patrones de distribución a través del gradiente de urbanización.

### III.7.3. Tamaño de muestra

Durante el mes de Febrero del año 2013, se realizó un pre-muestreo con el fin de estimar la media y varianza muestral de la distancia de detección de las especies más abundantes, y así, estimar el tamaño de muestra necesario para obtener resultados confiables de densidad poblacional (individuos por unidad de área) mediante el análisis de poder (Krebs, 1999). Se obtuvieron 100 simulaciones de distancias de detección con la función semi-normal en R (R Development Core Team, 2011) para cada una de las combinaciones de diferencias hipotéticas de dos densidades medias  $D_1$  y  $D_2$  ( $k = 0.5, 0.6, \dots, 2.0$ , donde  $D_1 = kD_2$ ) y tamaño de muestra ( $n = 10, 15, \dots, 100$ ) utilizando las estimaciones de varianzas muestral de las distancias de detección de las especies más abundantes identificadas en el pre-muestreo (febrero 2013): *Columba livia*, *Zenaida asiatica*, *Zenaida macroura*, *Melanerpes uropygialis*, *Auriparus flavisepe*, *Quiscalus mexicanus*, *Haemorhous mexicanus* y *Passer domesticus*. Para cada simulación, se realizó una prueba de Wald para evaluar la diferencia de densidad media  $D_1 - D_2$  con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . Se tomó el tamaño de muestra para detectar diferencias en densidad entre unidades de muestreo del 50% veces (esto es  $k = 1.5$ ) con un poder estadístico de 80%.

### III.7.4. Análisis de asociación por *Fourth Corner*

Se realizó un análisis multivariado *Fourth Corner* con el paquete *ade4* (Thioulouse *et al.* 1997) en R (R Development Core Team, 2011) para determinar si existen asociaciones entre las características intrínsecas de las especies detectadas y las características ambientales (Dolédec *et al.* 1996; Ikin *et al.* 2012; Dray, 2013; Dray *et al.* 2014) usando los puntos de conteo como unidad de muestreo.

Para realizar el análisis multivariado *Fourth Corner* los datos requieren ser organizados en tres matrices distintas. La matriz **R** contiene los valores de las variables binarias sobre la presencia (1) o ausencia (0) de características urbanas censadas (columnas) en cada uno de los puntos muestreados ( renglones) durante las tres temporadas de muestreo. Las características urbanas utilizadas en la matriz **R** fueron: el nivel de urbanización asignado al cuadrante al que

pertenece cada punto muestreado, el tipo de uso de suelo y la cobertura vegetal. La matriz **L** contiene el número de individuos identificados por especie (columnas) en cada uno de los sitios muestreados (renglones). A la matriz **L** se les aplicó la transformación logarítmica  $\ln(x+1)$  para contrarrestar los efectos influyentes de las especies con un mayor número de detecciones sobre el análisis. Y finalmente, la matriz **Q** contiene los valores de las variables binarias sobre la presencia (1) o ausencia (0) de características intrínsecas (columnas) en cada una de las especies (renglones). Las características utilizadas en la matriz **Q** fueron: el promedio de huevos por anidada, estrato reproductivo, estrategia y estrato alimenticio, rango de distribución, peso corporal, hábito social, y sí se trata de una especie nativa o exótica.

El análisis *Fourth Corner*  $S_{RLQ} = \text{traza}(\mathbf{ZD}_r\mathbf{Z}^t\mathbf{D}_q)$  utiliza el estadístico de prueba  $S_{RLQ}$  calculado a partir de las matrices **R**, **L**, y **Q** (Dray y Legendre, 2008). La distribución de muestreo para  $S_{RLQ}$  se obtuvo mediante 9,999 permutaciones aleatorias de los renglones y columnas de la matriz **L** usando el paquete *ade4*. La prueba de hipótesis de no relación entre las características intrínsecas de las especies y las características ambientales se efectuó con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . Para el análisis se consideraron todas aquellas especies de las cuales fueron identificados más de cinco individuos.

## **IV. RESULTADOS**

### **IV.1 Clasificación urbana del área de estudio**

La ciudad de Hermosillo comprendió una cuadrícula definida por la red UTM de 440 cuadrantes de 1 km<sup>2</sup>. Del total de cuadrantes, solo a 193 cuadrantes se les asignó uno de los cuatro niveles de urbanización: 31 cuadrantes presentaron un nivel de urbanización de 0-29%; 47 cuadrantes presentaron un nivel de 30-59%; 42 cuadrantes presentaron un nivel de 60-89%; y finalmente 73 cuadrantes presentaron un nivel de urbanización 90-100% (Figura 4). Se observó que la ciudad cuenta con dos núcleos con alto nivel de urbanización.

### **IV.2. Tamaño de muestra**

Se estimó un tamaño de muestra de 60 puntos por nivel de urbanización para detectar diferencias del 50% (esto es  $k = 1.5$ ) en la densidad poblacional promedio, con un poder estadístico de 80% (Figura 5). Esto equivale a un total de 240 puntos de muestreo (Figura 6; Apéndice 1). De los 193 cuadrantes a los que se les asignó un nivel de urbanización, se seleccionaron 15 cuadrantes al azar de cada nivel, los cuales representan los 60 puntos de muestreo necesarios.

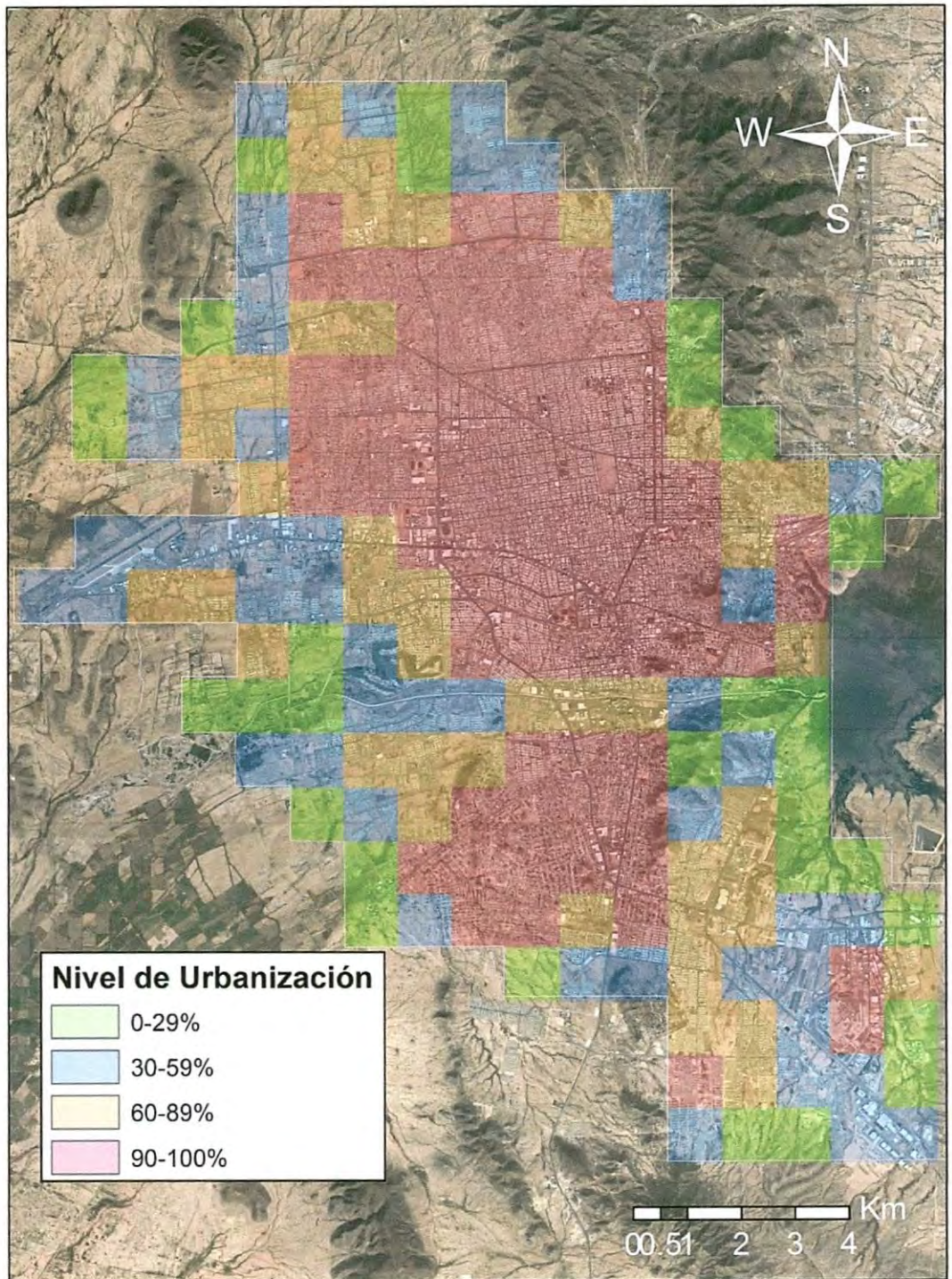


Figura 4. Cuadrícula (1 km<sup>2</sup>) de la ciudad de Hermosillo con niveles de urbanización asignados.

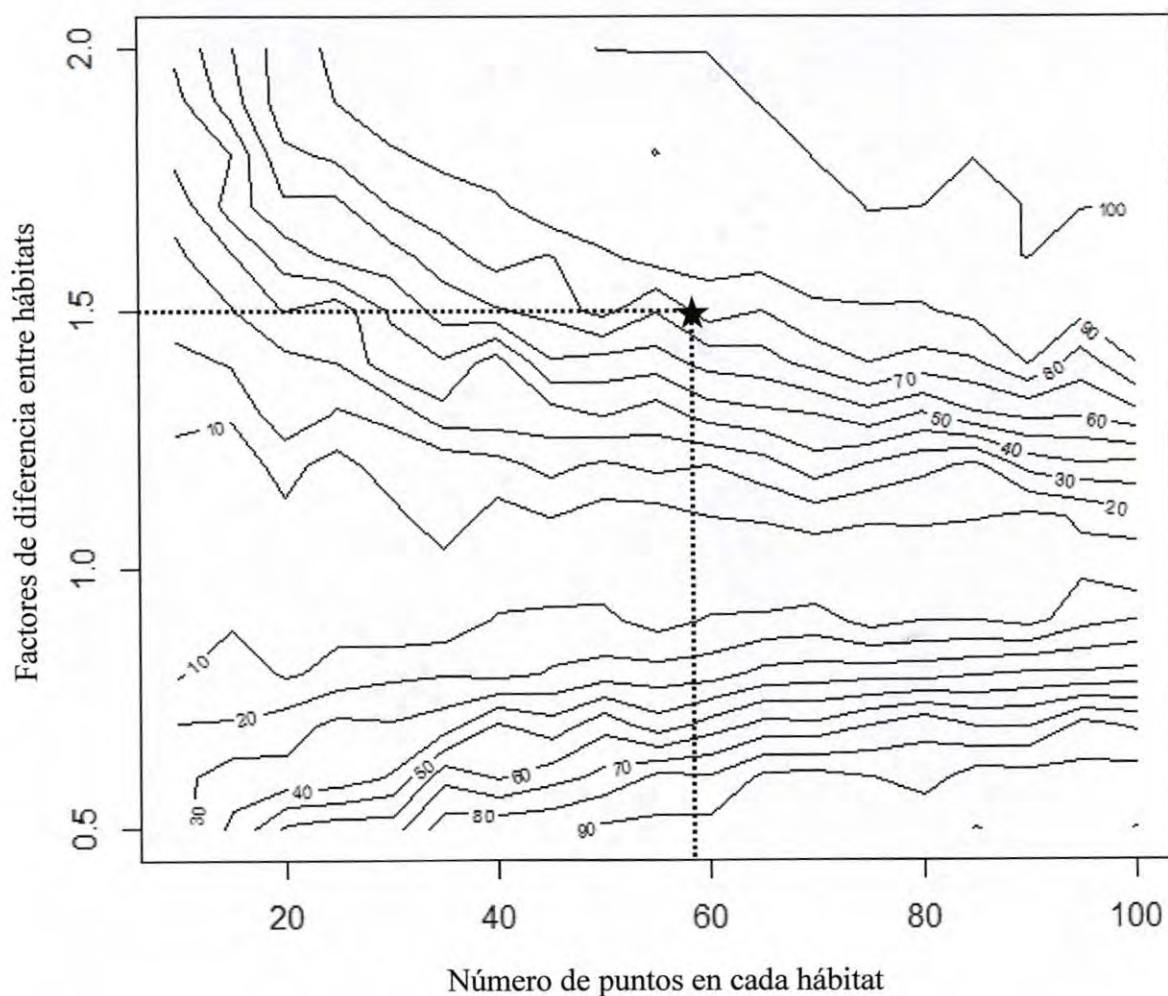


Figura 5. Estimación del tamaño de muestra mediante un análisis de poder usando la varianza muestral de la densidad de *Zenaida asiatica*. Las curvas de nivel describen la variación en el tamaño de muestra y los factores de diferencia en densidad poblacional detectables para valores seleccionados de poder estadístico. La estrella señala el tamaño de muestra para un poder estadístico del 80% y una diferencia detectable de 1.5 veces.



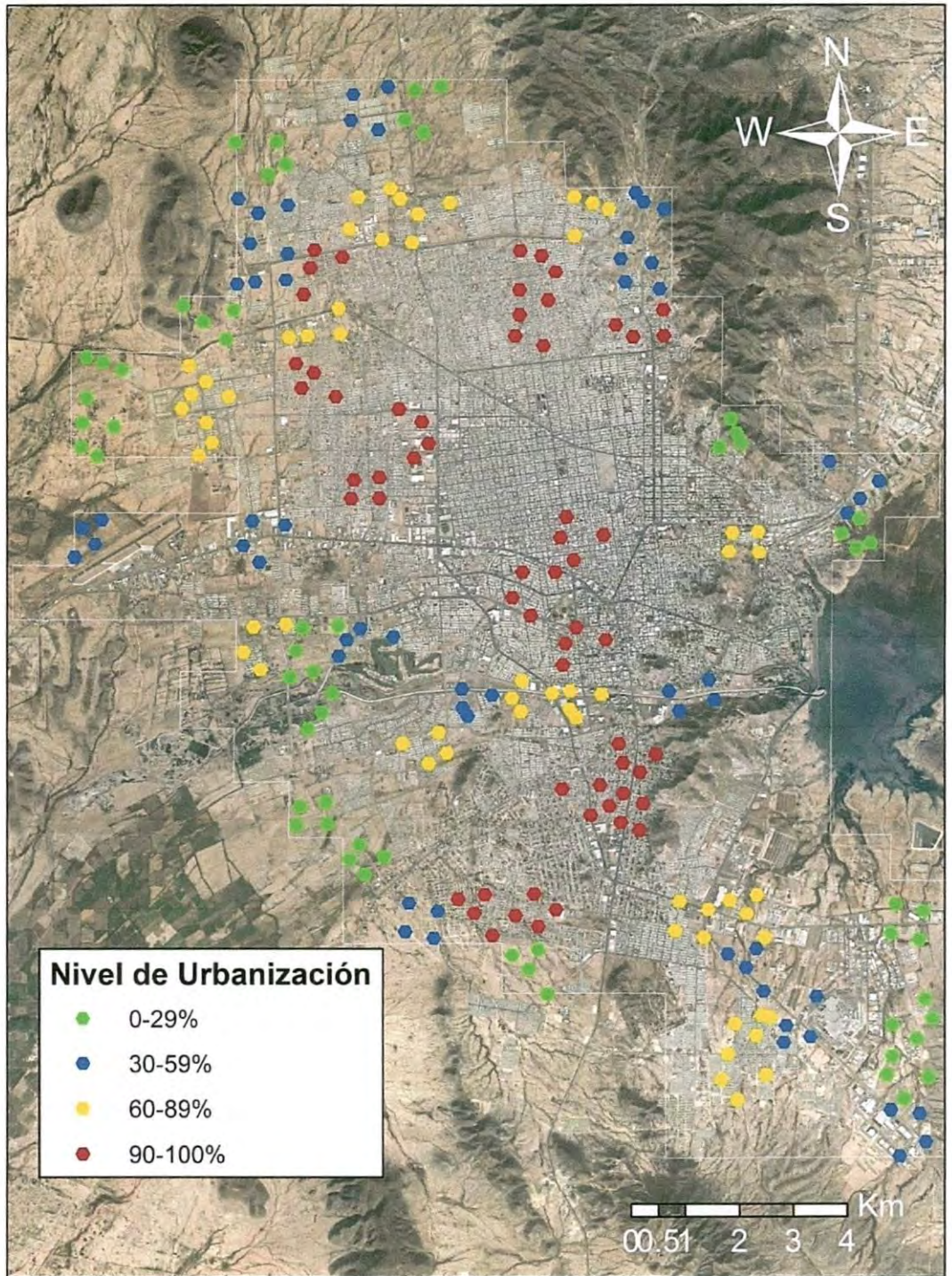


Figura 6. Colocación de los 240 puntos de muestreo.

### IV.3. Composición de la avifauna

Se registró un total de 11,024 individuos, pertenecientes a 72 especies, 28 familias y 11 órdenes (Tabla 4). Un total de seis especies no nativas fueron identificadas, *Passer domesticus*, siendo la más abundante, seguida por *Streptopelia decaocto*, *Columba livia*, *Sturnus vulgaris*, y dos especies de pericos, *Myiopsitta monachus* y *Amazona albifrons*. De las 72 especies identificadas, 39 especies son residentes reproductoras (entre ellas las seis especies exóticas), 12 especies son reproductoras de verano y 21 especies son migratorias. Solo dos especies aparecen en la Lista Roja de Especies Amenazadas (*Red List of Threatened Species*) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2013): *Vireo bellii* como casi amenazada (NT) y *Toxostoma bendirei* como vulnerable (VU). Cuatro especies aparecen como sujetas a protección especial (Pr) en la categoría de riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059 (SEMARNAT, 2010): *Accipiter cooperii*, *Buteo swainsoni*, *Buteo jamaicensis* y *Falco peregrinus*.

Se compararon las tendencias de abundancia y diversidad de las especies según los distintos niveles de urbanización (Figura 7). Se observó que la abundancia es mayor al incrementar el nivel de urbanización. De manera contraria, se observó que la diversidad de especies es mayor al disminuir el nivel de urbanización.

Del total de las 72 especies identificadas, solo 10 especies representan el 80% del total de los individuos identificados. Entre ellas, tres especies no nativas, *P. domesticus*, *S. decaocto* y *C. livia*. Estas últimas tres especies representan el 41% del total de individuos observados (Figura 8). El orden más abundante a través de la ciudad es el orden Columbiformes, el cual está representado por *S. decaocto*, *C. livia*, *Z. asiática*, *Z. macroura* y *C. inca*. Las especies pertenecientes al orden Columbiformes representan el 40% del total de los individuos identificados.

Tabla 4. Especies de aves identificadas en los muestreos.

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre Común</b>	
Galliformes	Odontophoridae	<i>Callipepla gambelii</i>	Cordorniz de Gambel	
Accipitriformes	Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote Negro	
		<i>Cathartes aura</i>	Zopilote Aura	
	Accipitridae	<i>Elanus leucurus</i>	Elanio Maromero	
		<i>Circus cyaneus</i>	Aguilucho Pálido	
		<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilan de Cooper	
		<i>Buteo swainsoni</i>	Busardo Chapulinero	
		<i>Buteo jamaicensis</i>	Busardo Colirrojo	
		<i>Columba livia</i> <sup>1</sup>	Paloma Bravía	
Columbiformes	Columbidae	<i>Streptopelia decaocto</i> <sup>1</sup>	Tórtola Turca	
		<i>Zenaida asiática</i>	Tórtola Aliblanca	
		<i>Zenaida macroura</i>	Huilota	
		<i>Columbina inca</i>	Tortolita Mexicana	
		<i>Geococcyx californianus</i>	Correcaminos	
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero Pijuy	
		<i>Athene cunicularia</i>	Tecolote Llanero	
Strigiformes	Strigidae	<i>Chordeiles acutipennis</i>	Chotacabras Menor	
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Selasphorus sp</i>		
Apodiformes	Trochilidae	<i>Cynanthus latirostris</i>	Colibrí de Pico Ancho	
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes uropygialis</i>	Carpintero de Gila	
		<i>Picoides scalaris</i>	Carpintero Mexicano	
		<i>Colaptes chrysoides</i>	Carpintero Dorado	
		<i>Falco sparverius</i>	Cernicalo Americano	
Falconiformes	Falconidae	<i>Falco columbarius</i>	Esmerejón	
		<i>Falco peregrinus</i>	Halcon Peregrino	
		<i>Myiopsitta monachus</i> <sup>1</sup>	Cotorra Monje	
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Amazona albifrons</i> <sup>1</sup>	Amazona de Frente Blanca	
		<i>Tyrannus verticalis</i>	Tirano Pálido	
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Empidonax sp</i>		
		<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Mosquero Sangretoro	
		<i>Myiarchus cinerascens</i>	Papamoscas Cenizo	
		<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Papamoscas Tirano	
	Vireonidae	<i>Vireo bellii</i>	Vireo de Bell	
		Laniidae	<i>Lanius ludovicianus</i>	Verdugo Americano
		Corvidae	<i>Corvus corax</i>	Cuervo Común

Tabla 4. Especies de aves identificadas en los muestreos.

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre Común	
Passeriformes	Hirundinidae	<i>Stelgidopteryx</i> <i>serripennis</i>	Golondrina Aserrada	
		<i>Petrochelidon</i> <i>pyrrhonota</i>	Golondrina de Acantilado	
	Remizidae	<i>Auriparus flaviceps</i>	Baloncillo	
	Troglodytidae	<i>Campylorhynchus</i> <i>brunneicapillus</i>	Matraca del Desierto	
	Poliptilidae	<i>Poliptila melanura</i>	Perlita del Desierto	
	Mimidae	<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuitlacoche Común	
		<i>Toxostoma bendirei</i>	Cuitlacoche Piquicorto	
		<i>Mimus polyglottos</i>	Cenzontle	
	Sturnidae	<i>Sturnus vulgaris</i> <sup>1</sup>	Estornino Pinto	
	Ptilogonatidae	<i>Phainopepla nitens</i>	Jilguero Negro	
	Parulidae	<i>Oreothlypis celata</i>	Chipe Celato	
		<i>Oreothlypis luciae</i>	Chipe Rabadillicastño	
		<i>Setophaga petechia</i>	Chipe Amarillo	
		<i>Setophaga coronata</i>	Reinita Coronada	
		<i>Setophaga townsendi</i>	Chipe Negroamarillo	
		<i>Cardellina pusilla</i>	Chipe Coroninegro	
		<i>Icteria virens</i>	Reinita Grande	
		Emberizidae	<i>Melospiza fusca</i>	Toqui Pardo
			<i>Peucaea carpalis</i>	Zacatonero Ala Rufa
			<i>Spizella breweri</i>	Gorrión de Brewer
			<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión Arlequín
			<i>Zonotrichia leucophrys</i>	Gorrión Corona Blanca
		Cardinalidae	<i>Piranga ludoviciana</i>	Tangara Capucha Roja
	<i>Cardinalis cardinalis</i>		Cardenal Norteño	
	<i>Cardinalis sinuatus</i>		Cardenal del Desierto	
	<i>Pheucticus</i> <i>melanocephalus</i>		Tigrillo Picogordo	
	<i>Passerina versicolor</i>		Colorín Morado	
	Icteridae	<i>Agelaius phoeniceus</i>	Tordo Sargento	
		<i>Xanthocephalus</i> <i>xanthocephalus</i>	Tordo Cabeza Amarilla	
		<i>Euphagus</i> <i>cianocephalus</i>	Tordo Ojo Amarillo	
		<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate	

Tabla 4. Especies de aves identificadas en los muestreos.

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre Común</b>
Passeriformes	Icteridae	<i>Molothrus aeneus</i>	Vaquero de Ojos Rojos
		<i>Molothrus ater</i>	Vaquero Cabeza Café
		<i>Icterus cucullatus</i>	Bolsero Encapuchado
		<i>Icterus bullockii</i>	Bolsero Calandria
	Fringillidae	<i>Haemorhous mexicanus</i>	Pinzón Mexicano
	Passeridae	<i>Passer domesticus</i> <sup>1</sup>	Gorrión Común

<sup>1</sup>Especies exóticas

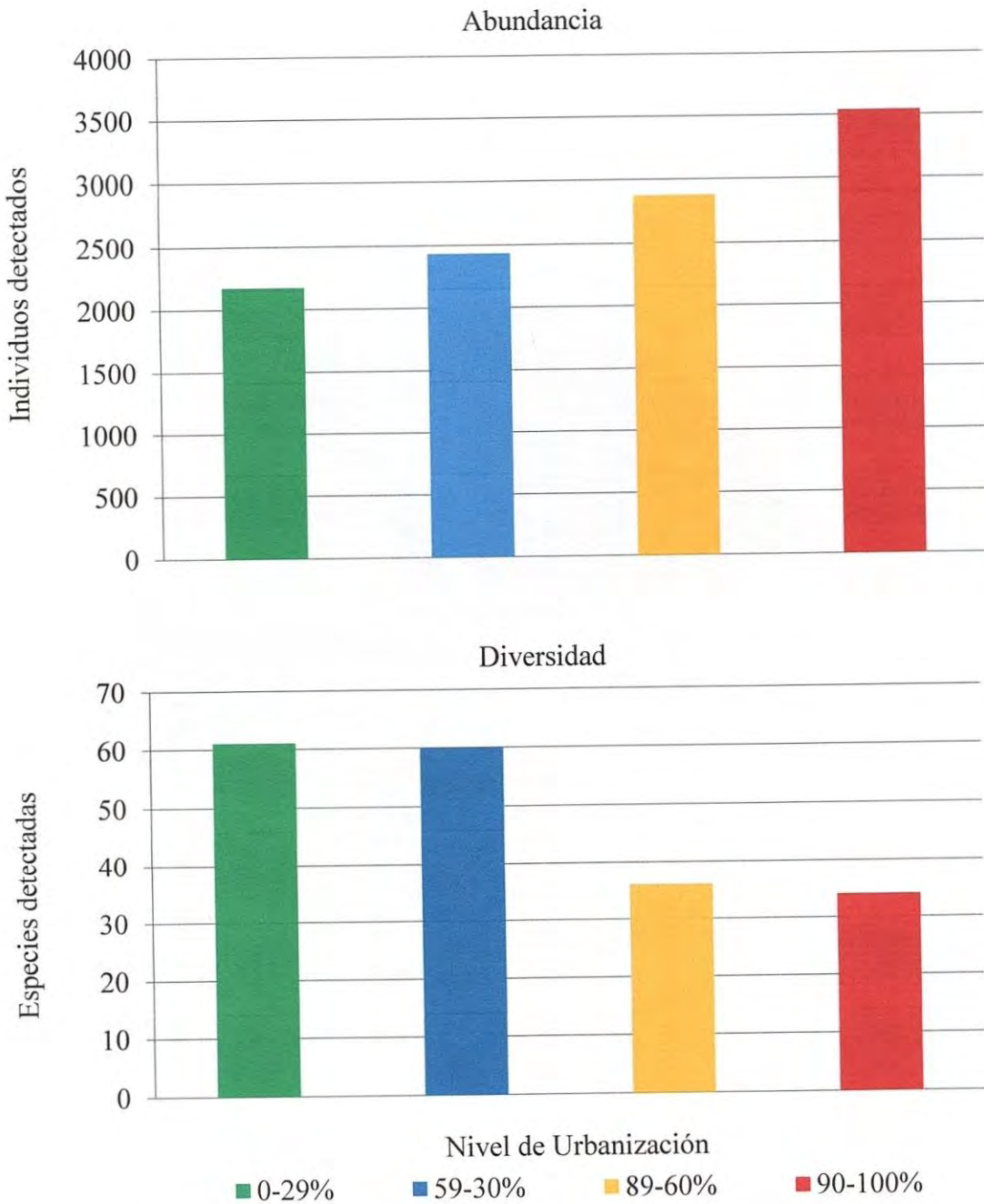


Figura 7. Tendencia de la abundancia y diversidad de las especies según varía el nivel de urbanización.

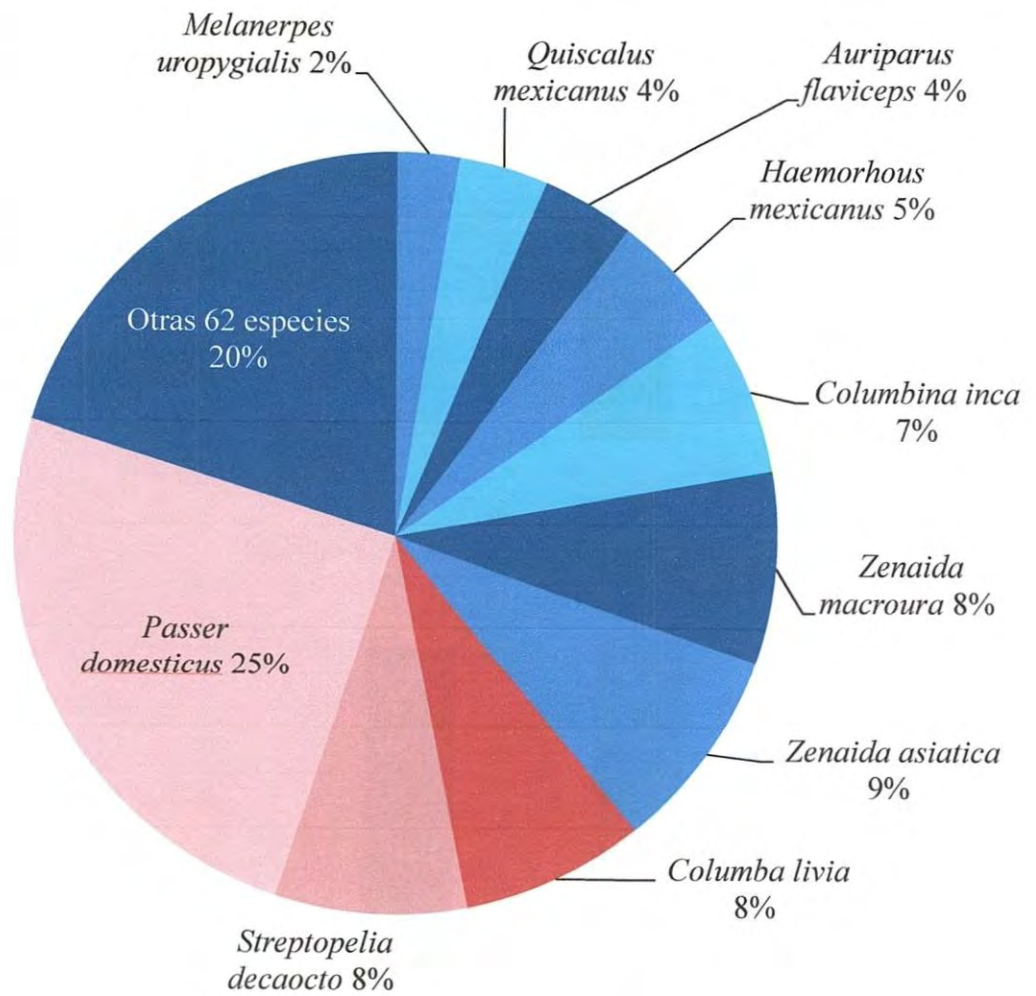


Figura 8. Proporción de la abundancia total de aves en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

En las áreas con el menor nivel de urbanización (0-29%) se registraron 2,174 individuos pertenecientes a 61 especies (en 180 parcelas muestreadas). Doce de estas 61 especies representan el 68% de los individuos identificados en este nivel. Entre estas 12 especies se encuentran dos especies no nativas, *P. domesticus* y *S. decaocto*, las cuales representan un 12% de los individuos observados en nivel de urbanización 0-29% (Figura 9). Las especies pertenecientes al orden Columbiformes representan el 26% del total de los individuos identificados en este nivel. Para el nivel de urbanización 0-29% se calculó un índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) de 3.31.

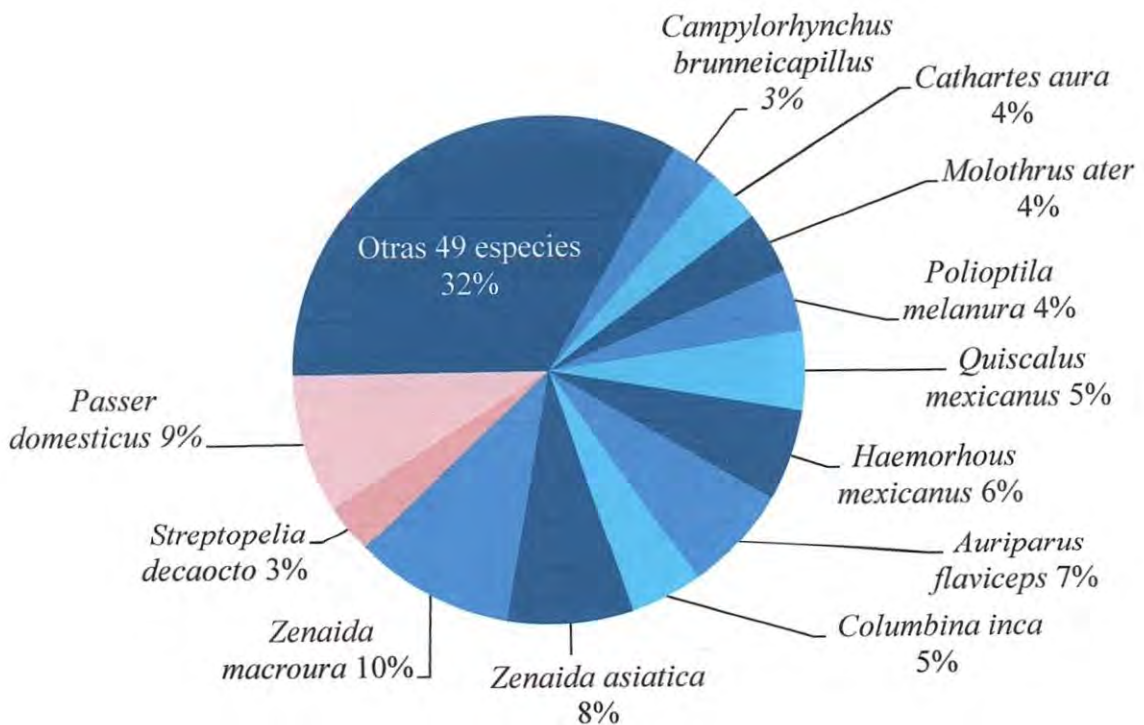


Figura 9. Proporción de la abundancia de aves por especie en las áreas con un nivel de urbanización 0-29% ( $n= 2,174$  individuos, 61 especies).



En las zonas con un nivel urbanización de 30-59% se registraron 2,435 individuos pertenecientes a 60 especies (en 175 parcelas muestreadas). Nueve de estas 60 especies representan el 74% de los individuos identificados en este nivel. Entre estas nueve especies se encuentran dos especies no nativas *P. domesticus* y *S. decaocto*, las cuales representan un 33% de los individuos observados en el nivel urbanización 30-59% (Figura 10). Las especies pertenecientes al orden Columbiformes representan también el 26% del total de los individuos identificados en este nivel. Para el nivel de urbanización 30-59% se calculó un índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) de 2.87.

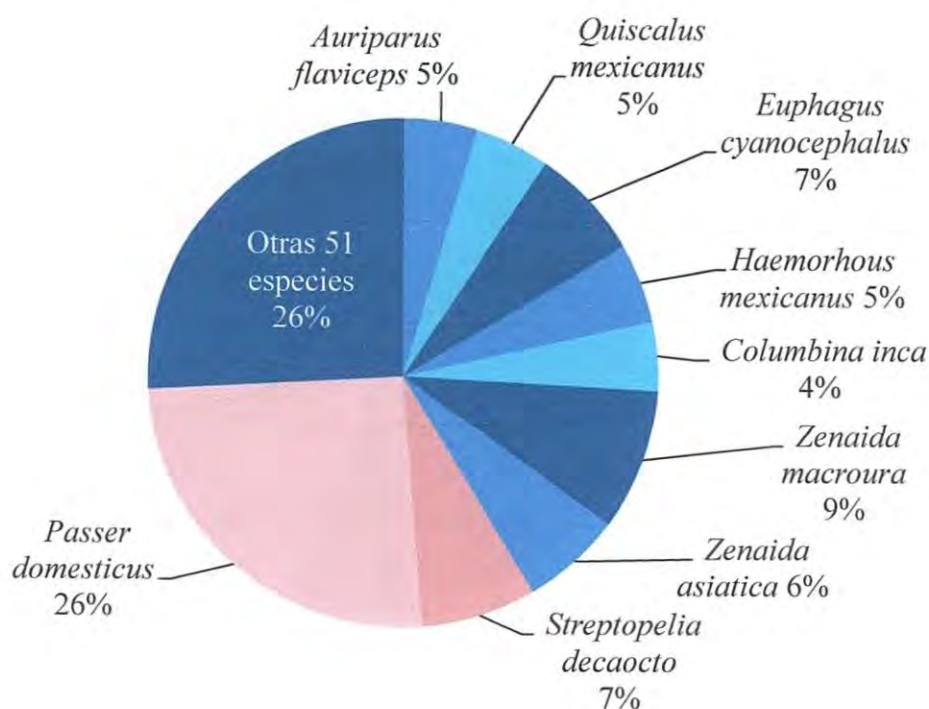


Figura 10. Proporción de la abundancia de aves por especie en las áreas con un nivel de urbanización 30-59% ( $n= 2,435$  individuos, 60 especies).

En los sitios con un nivel de urbanización de 60-89% se registraron 2,877 individuos pertenecientes a 36 especies (en 179 parcela muestreadas). Ocho de estas 36 especies representan el 84% de los individuos identificados en este nivel. Entre estas ocho especies se encuentran tres especies no nativas *P. domesticus*, *S. decaocto* y *C. livia*, las cuales representan un 58% de los individuos observados en el nivel de urbanización 60-89% (Figura 11). Las especies pertenecientes al orden Columbiformes representan el 45% del total de los individuos identificados en este nivel. Para el nivel de urbanización 50-89% se calculó un índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) de 2.38.

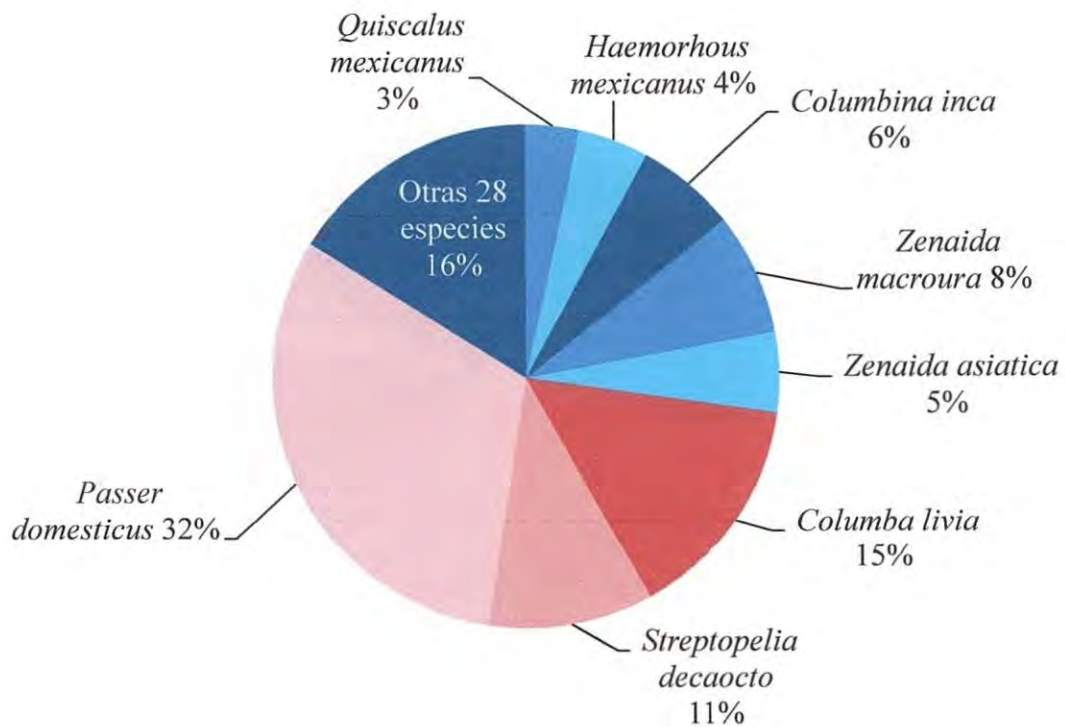


Figura 11. Proporción de la abundancia de aves por especie en las áreas con un nivel de urbanización de 60-89% ( $n= 2,877$  individuos, 36 especies).

En las áreas con un nivel de urbanización de 90-100% se registraron 3,538 individuos pertenecientes a 34 especies (en 180 parcelas muestreadas). Ocho de estas 34 especies representan el 88% de los individuos identificados en este nivel. Entre estas ocho especies se encuentran tres especies no nativas *P. domesticus*, *S. decaocto* y *C. livia*, las cuales representan un 48% de los individuos observados en el nivel de urbanización 90-100% (Figura 12). Las especies pertenecientes al orden Columbiformes representan el 49% del total de los individuos identificados en este nivel. Para el nivel de urbanización 90-100% se calculó un índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) de 2.31.

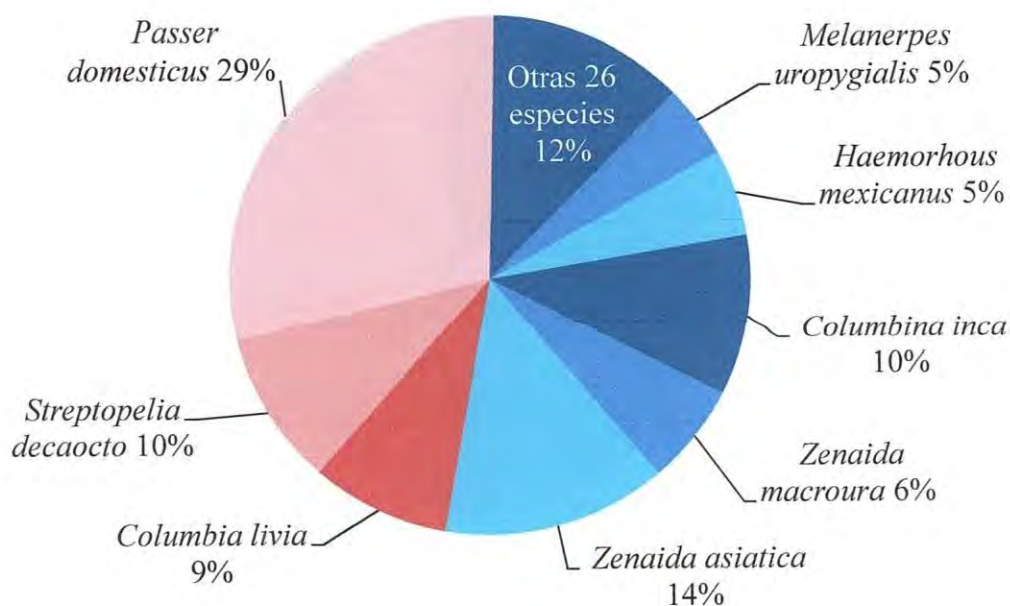


Figura 12. Proporción de la abundancia de aves por especie en las áreas con un nivel de urbanización de 90-100% ( $n= 3,538$  individuos, 34 especies).

Los niveles de urbanización contiguos (0-29% y 30-59%; 30-59% y 60-89%; 60-89% y 90-100%) presentan valores de diversidad ( $H'$ ) estadísticamente distintas (prueba  $t$ ,  $P < 0.01$ ; Tabla 5).

Tabla 5. Estadísticos de los índices de Shannon-Wiener ( $H'$ ) obtenido para cada nivel de urbanización y los valores de las pruebas  $t$ .

Nivel de Urbanización	$N$	$S$	$H'$	$\text{Var}(H')$	$t$	$g.l.$	$P$
0-29%	2,174	61	3.31342	0.00043	13.32536	4501	0.001
30-59%	2,435	60	2.87084	0.00067	14.30392	5056	0.001
60-89%	2,877	36	2.38128	0.00050	2.38806	5767	0.01
90-100%	3,538	34	2.31299	0.00031			

$N$  = Número de individuos,  $S$  = Especies identificadas,  $g.l.$  = Grados de libertad.

#### IV.4. Densidad poblacional

Se obtuvieron estimaciones de la densidad poblacional para las 16 especies con más de 75 distancias de detección (Tabla 6). Las densidades de las especies analizadas por nivel de urbanización se muestran en la Tabla 7. El comportamiento espacial de la densidad poblacional de cada una de las especies analizadas se muestra a continuación (Figura 13-28).

La ciudad de Hermosillo, Sonora parece estar compuesta de dos núcleos urbanos (Figura 4), estas son zonas con un alto nivel de urbanización, rodeadas de áreas con niveles de urbanización menores. Los mapas de distribución de algunas especies parecen tener densidades altas en estos sitios donde se localizan los núcleos urbanos. *Streptopelia decaocto* (Figura 14) presenta una densidad alta en el núcleo urbano que se localiza al noroeste de la ciudad. *Columbina inca* y *P. domesticus* (Figura 17 y Figura 28, respectivamente) presentan una alta densidad en ambos núcleos urbanos, el que se localiza en el noroeste y el del sureste de la ciudad. De manera inversa, tenemos especies que evitan por completo las zonas urbanas manteniéndose en los límites de la ciudad como *C. brunneicapillus*, *P. melanura*, *C. grammacus* y *C. sinuatus*. (Figura 22-25).

Tabla 6. Cantidad de individuos identificados y sus detecciones por especie.

<b>Nombre científico</b>	<b>Individuos</b>	<b>Detecciones</b>
<i>Callipepla gambelii</i>	43	27
<i>Coragyps atratus</i>	37	9
<i>Cathartes aura</i>	125	98 <sup>2</sup>
<i>Elanus leucurus</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Circus cyaneus</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Accipiter cooperii</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Buteo swainsoni</i>	6	6
<i>Buteo jamaicensis</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Columba livia</i>	863	404 <sup>2</sup>
<i>Streptopelia decaocto</i>	898	757 <sup>2</sup>
<i>Zenaida asiática</i>	973	882 <sup>2</sup>
<i>Zenaida macroura</i>	899	687 <sup>2</sup>
<i>Columbina inca</i>	750	595 <sup>2</sup>
<i>Geococcyx californianus</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Athene cunicularia</i>	36	31
<i>Chordeiles acutipennis</i>	23	21
<i>Selasphorus sp</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Cynanthus latirostris</i>	197	183 <sup>2</sup>
<i>Melanerpes uropygialis</i>	290	274 <sup>2</sup>
<i>Picoides scalaris</i>	19	18
<i>Colaptes chrysoides</i>	5	5
<i>Falco sparverius</i>	8	7
<i>Falco columbarius</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Falco peregrinus</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Myiopsitta monachus</i>	34	19
<i>Amazona albifrons</i>	2 <sup>1</sup>	2
<i>Tyrannus verticalis</i>	127	117 <sup>2</sup>
<i>Empidonax sp</i>	4 <sup>1</sup>	3
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Myiarchus cinerascens</i>	12	11
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Vireo bellii</i>	44	42
<i>Lanius ludovicianus</i>	10	9
<i>Corvus corax</i>	4 <sup>1</sup>	3

Tabla 6. Cantidad de individuos identificados y sus detecciones por especie.

<b>Nombre científico</b>	<b>Individuos</b>	<b>Detecciones</b>
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	33	30
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Auriparus flaviceps</i>	438	411 <sup>2</sup>
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	113	111 <sup>2</sup>
<i>Polioptila melanura</i>	139	126 <sup>2</sup>
<i>Toxostoma curvirostre</i>	60	58
<i>Toxostoma bendirei</i>	3 <sup>1</sup>	3
<i>Mimus polyglottos</i>	61	55
<i>Sturnus vulgaris</i>	19	9
<i>Phainopepla nitens</i>	40	39
<i>Oreothlypis celata</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Oreothlypis luciae</i>	2 <sup>1</sup>	2
<i>Setophaga petechia</i>	2 <sup>1</sup>	2
<i>Setophaga coronata</i>	12	9
<i>Setophaga townsendi</i>	3 <sup>1</sup>	3
<i>Cardellina pusilla</i>	10	10
<i>Icteria virens</i>	1 <sup>1</sup>	1
<i>Melospiza fusca</i>	41	39
<i>Peucaea carpalis</i>	73	57
<i>Spizella breweri</i>	26	15
<i>Chondestes grammacus</i>	156	90 <sup>2</sup>
<i>Zonotrichia leucophrys</i>	3 <sup>1</sup>	3
<i>Piranga ludoviciana</i>	2 <sup>1</sup>	2
<i>Cardinalis cardinalis</i>	7	7
<i>Cardinalis sinuatus</i>	74	72 <sup>2</sup>
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	3 <sup>1</sup>	3
<i>Passerina versicolor</i>	5	5
<i>Agelaius phoeniceus</i>	5	3
<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i>	43	9
<i>Euphagus cyanocephalus</i>	241	44
<i>Quiscalus mexicanus</i>	418	323 <sup>2</sup>
<i>Molothrus aeneus</i>	40	24
<i>Molothrus ater</i>	191	65

Tabla 6. Cantidad de individuos identificados y sus detecciones por especie.

<b>Nombre científico</b>	<b>Individuos</b>	<b>Detecciones</b>
<i>Icterus cucullatus</i>	9	7
<i>Icterus bullockii</i>	3 <sup>1</sup>	3
<i>Haemorhous mexicanus</i>	571	383 <sup>2</sup>
<i>Passer domesticus</i>	2755	1792 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Especies que no fueron consideradas en el análisis *Fourth Corner* por no haberse identificado más de cinco individuos.

<sup>2</sup>Especies utilizadas en el análisis de *DISTANCE* al tener más de 75 detecciones.

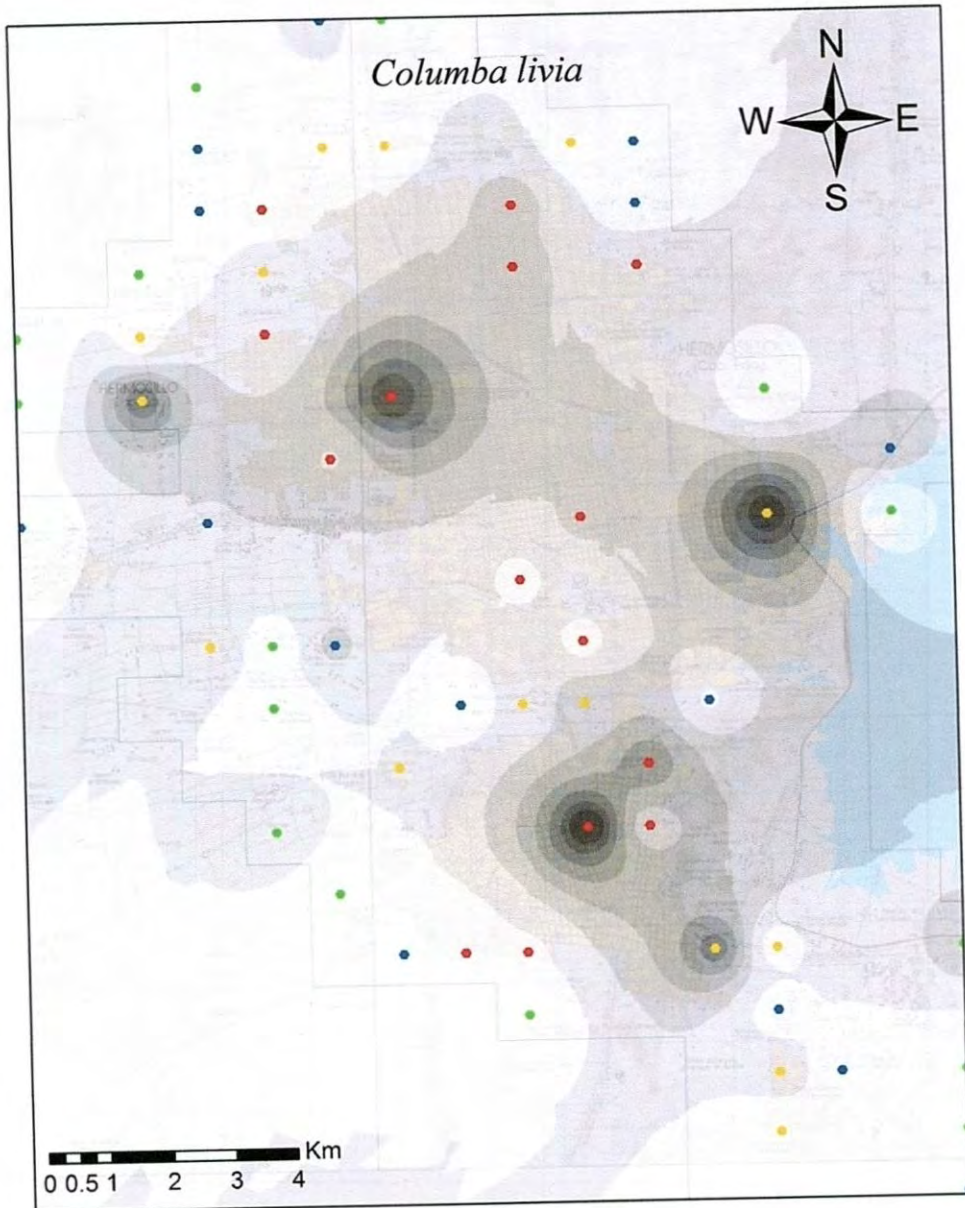
Tabla 7. Estimaciones de densidad de las especies según el nivel de urbanización.

<b>Nombre Científico</b>	<b>Nivel de Urbanización</b>	<b>Densidad (individuos por km<sup>2</sup>)</b>	<b>Error</b>	<b>CV</b>
<i>Columba livia</i>	0-29%	30.321	4.974	0.164
	30-59%	74.705	15.709	0.210
	60-89%	93.435	14.086	0.150
	90-100%	130.990	21.509	0.164
<i>Streptopelia decaocto</i>	0-29%	135.160	12.222	0.090
	30-59%	456.870	43.943	0.096
	60-89%	417.310	40.651	0.097
	90-100%	194.450	18.056	0.092
<i>Zenaida asiatica</i>	0-29%	133.880	9.888	0.073
	30-59%	335.200	27.531	0.082
	60-89%	628.330	58.928	0.093
	90-100%	410.590	32.393	0.078
<i>Zenaida macroura</i>	0-29%	113.320	7.446	0.065
	30-59%	135.950	9.465	0.069
	60-89%	107.180	12.823	0.119
	90-100%	185.010	12.335	0.066
<i>Columbina inca</i>	0-29%	218.690	20.137	0.092
	30-59%	347.470	31.099	0.089
	60-89%	773.000	69.210	0.089
	90-100%	744.940	69.506	0.093
<i>Cyananthus latirostris</i>	0-29%	208.730	33.432	0.160
	30-59%	174.510	27.197	0.155
	60-89%	149.270	23.556	0.157
	90-100%	383.620	58.984	0.153
<i>Melanerpes uropygialis</i>	0-29%	25.040	3.467	0.138
	30-59%	32.397	3.646	0.112
	60-89%	51.913	6.146	0.118
	90-100%	159.670	18.081	0.113
<i>Tyrannus verticalis</i>	0-29%	16.337	2.026	0.124
	30-59%	12.792	1.459	0.114
	60-89%	7.689	0.813	0.105
	90-100%	18.340	2.131	0.116



Tabla 7. Estimaciones de densidad de las especies según el nivel de urbanización.

<b>Nombre Científico</b>	<b>Nivel de Urbanización</b>	<b>Densidad (individuos por km<sup>2</sup>)</b>	<b>Error</b>	<b>CV</b>
<i>Auriparus flaviceps</i>	0-29%	345.040	31.877	0.092
	30-59%	234.900	22.342	0.095
	60-89%	174.730	16.380	0.093
	90-100%	225.890	21.281	0.094
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	0-29%	51.792	4.728	0.091
	30-59%	46.939	4.468	0.095
	60-89%	10.465	0.951	0.090
	90-100%	0	0	-
<i>Poliophtila melanura</i>	0-29%	231.270	35.962	0.155
	30-59%	125.760	18.721	0.148
	60-89%	48.867	7.889	0.161
	90-100%	2.837	0.421	0.148
<i>Chondestes grammacus</i>	0-29%	71.196	10.953	0.153
	30-59%	34.895	6.581	0.188
	60-89%	54.644	8.193	0.149
	90-100%	24.047	6.803	0.282
<i>Cardinalis sinuatus</i>	0-29%	17.396	4.479	0.257
	30-59%	12.202	3.173	0.260
	60-89%	5.815	1.562	0.268
	90-100%	0.885	0.227	0.257
<i>Quiscalus mexicanus</i>	0-29%	58.683	5.437	0.092
	30-59%	40.668	5.879	0.144
	60-89%	48.736	4.256	0.087
	90-100%	50.490	4.961	0.098
<i>Haemorhous mexicanus</i>	0-29%	234.260	30.708	0.131
	30-59%	287.200	37.992	0.132
	60-89%	245.540	30.957	0.126
	90-100%	398.110	46.573	0.116
<i>Passer domesticus</i>	0-29%	1227.900	60.790	0.049
	30-59%	2179.300	201.640	0.092
	60-89%	1702.600	135.550	0.079
	90-100%	3023.800	266.020	0.087



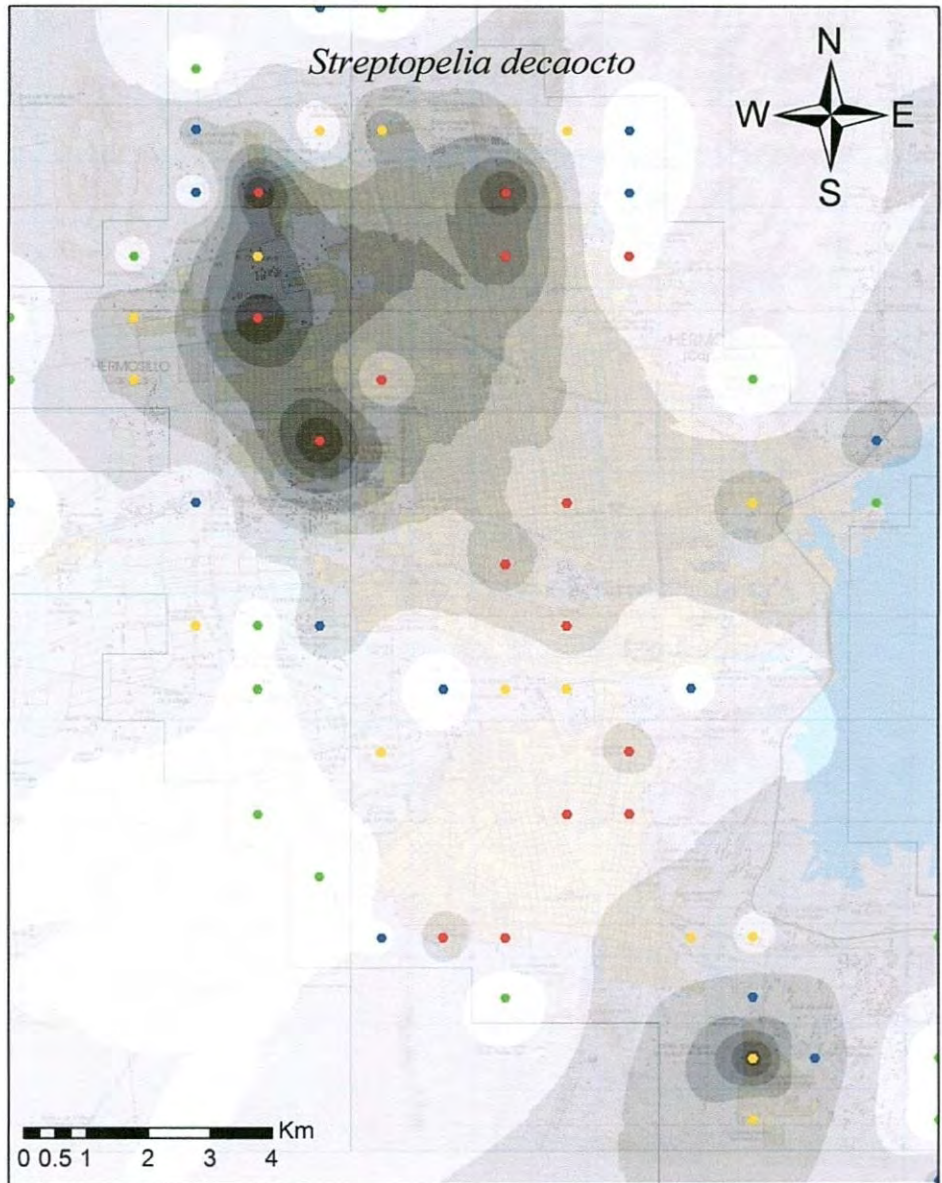
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 60-89%
- 30-59%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |        |         |         |         |  |
|--------|---------|---------|---------|--|
|        |         |         |         |  |
| 0 - 50 | 101-150 | 201-250 | 301-340 |  |
|        |         |         |         |  |
| 51-100 | 151-200 | 251-300 | 341-390 |  |

Figura 13. Variación espacial de la densidad de *Columba livia* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



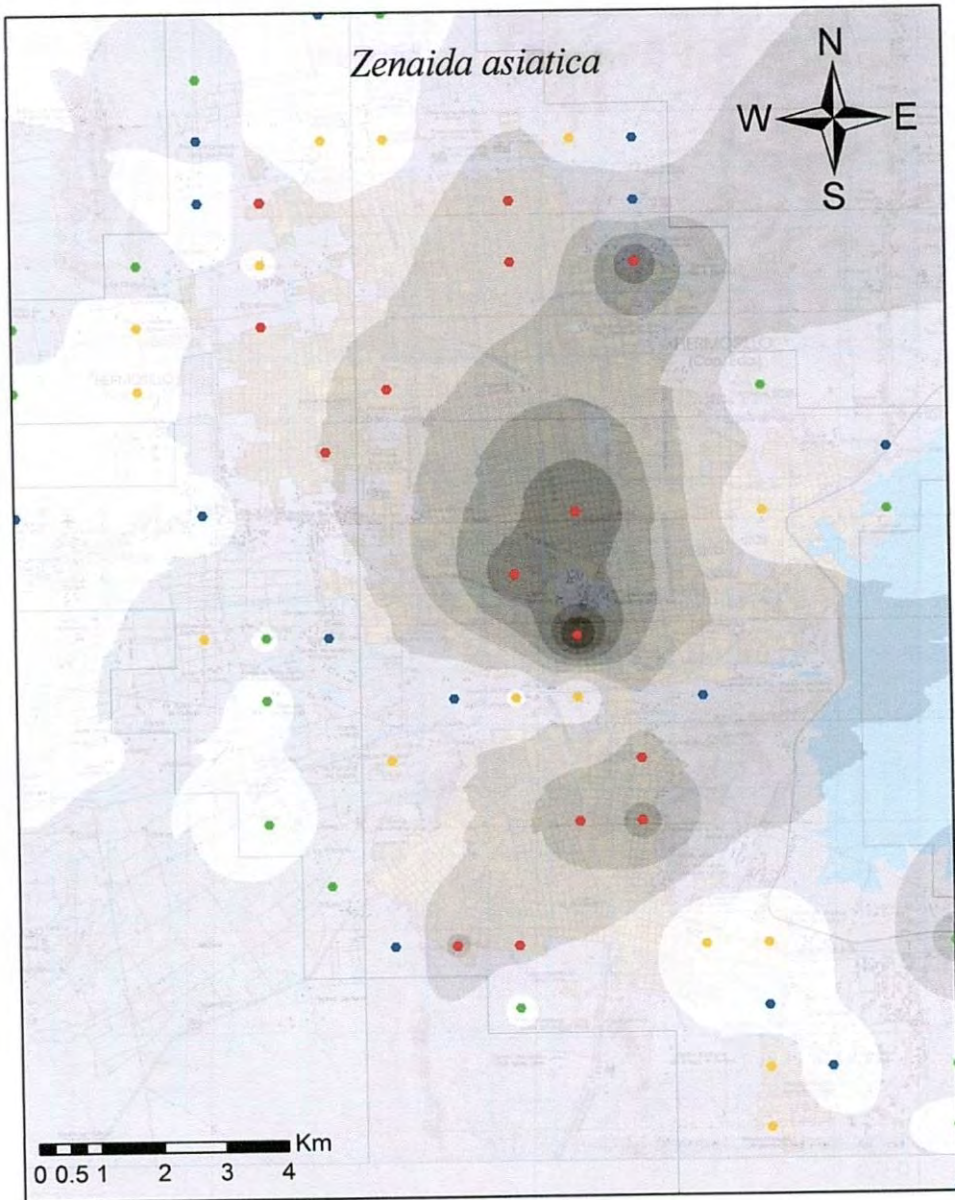
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%      ● 60-89%
- 30-59%    ● 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |  |        |  |         |  |         |  |         |
|--|--------|--|---------|--|---------|--|---------|
|  | 0-80   |  | 166-250 |  | 331-415 |  | 501-580 |
|  | 81-165 |  | 251-330 |  | 416-500 |  | 581-660 |

Figura 14. Variación espacial de la densidad de *Streptopelia decaocto* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



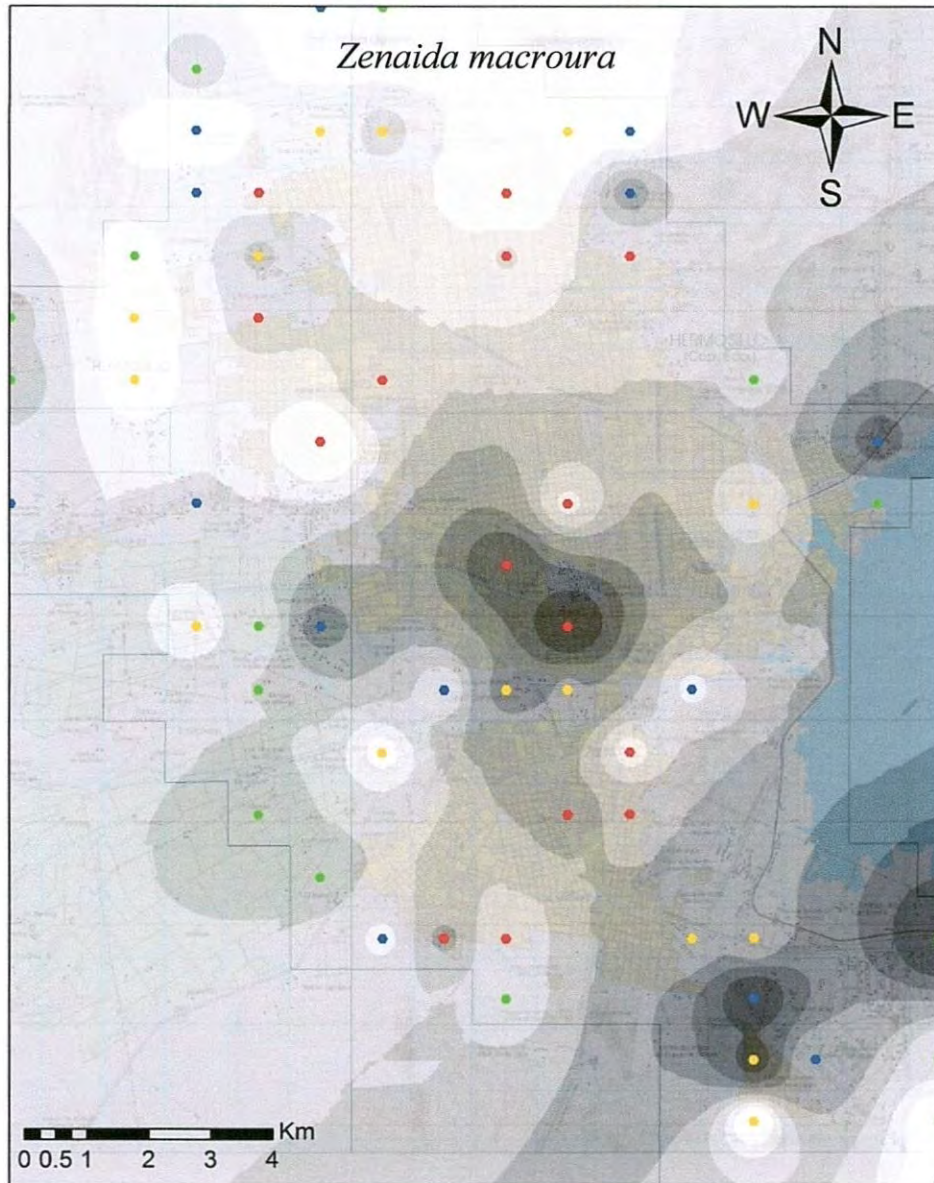
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 60-89%
- 30-59%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |  |         |  |         |  |         |  |         |
|--|---------|--|---------|--|---------|--|---------|
|  | 0-120   |  | 241-360 |  | 481-600 |  | 731-840 |
|  | 121-240 |  | 361-480 |  | 601-730 |  | 841-960 |

Figura 15. Variación espacial de la densidad de *Zenaida asiática* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



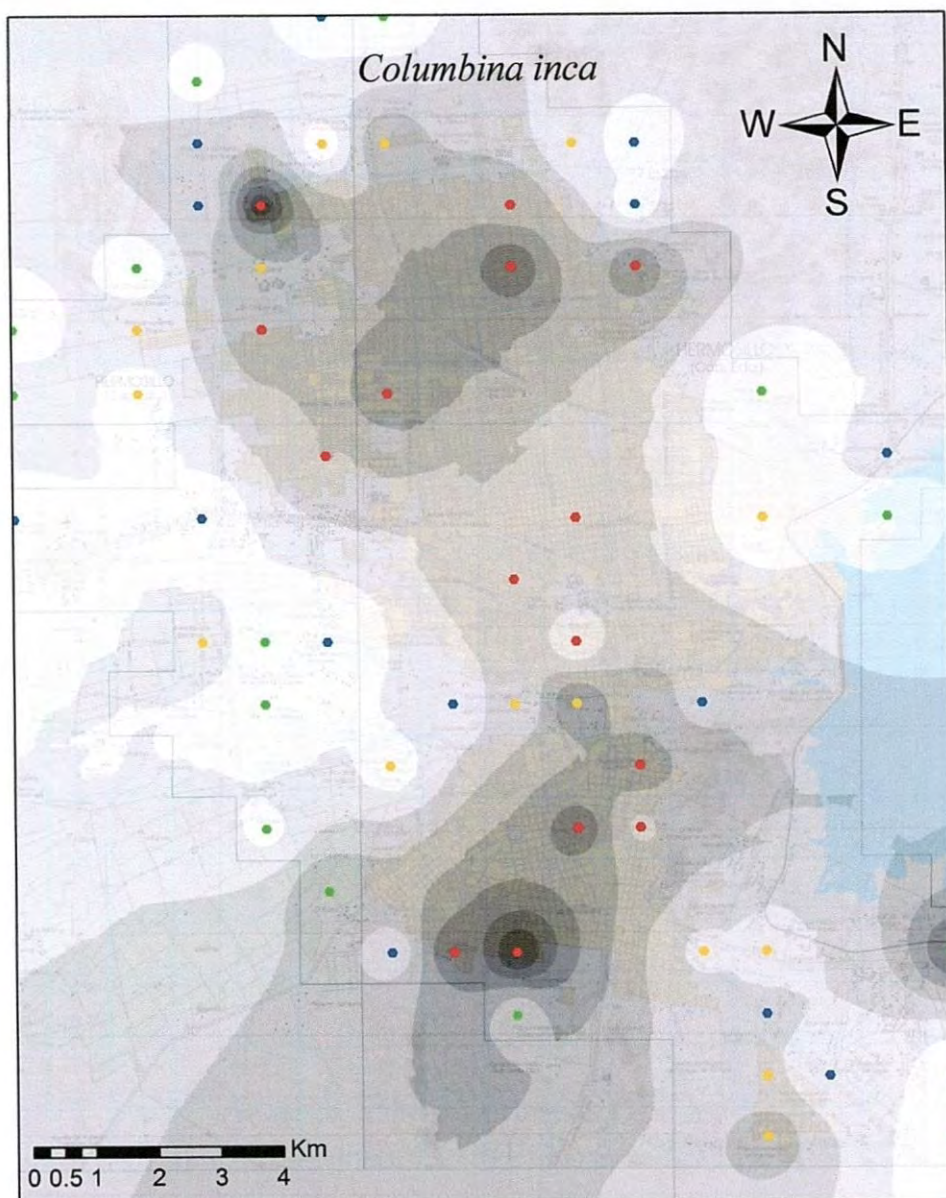
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 60-89%
- 30-59%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |         |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| □ 0-65  | □ 91-120  | □ 151-200 | □ 241-300 |
| □ 66-90 | □ 121-150 | □ 201-240 | □ 301-416 |

Figura 16. Variación espacial de la densidad de *Zenaida macroura* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



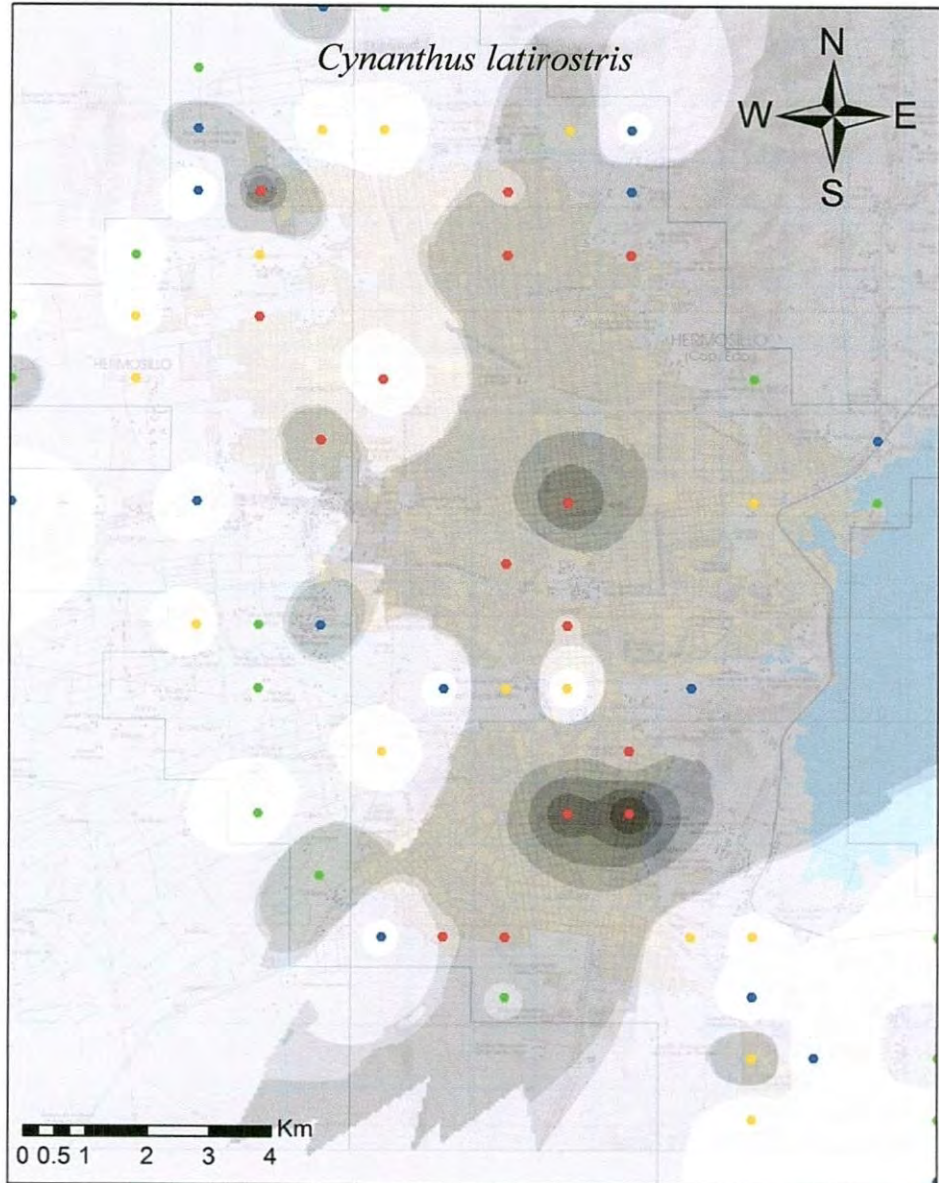
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 30-59%
- 60-89%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |  |         |  |         |  |           |  |             |
|--|---------|--|---------|--|-----------|--|-------------|
|  | 0-185   |  | 366-550 |  | 736-920   |  | 1,101-1,285 |
|  | 186-365 |  | 551-735 |  | 921-1,100 |  | 1,286-1,470 |

Figura 17. Variación espacial de la densidad de *Columbina inca* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



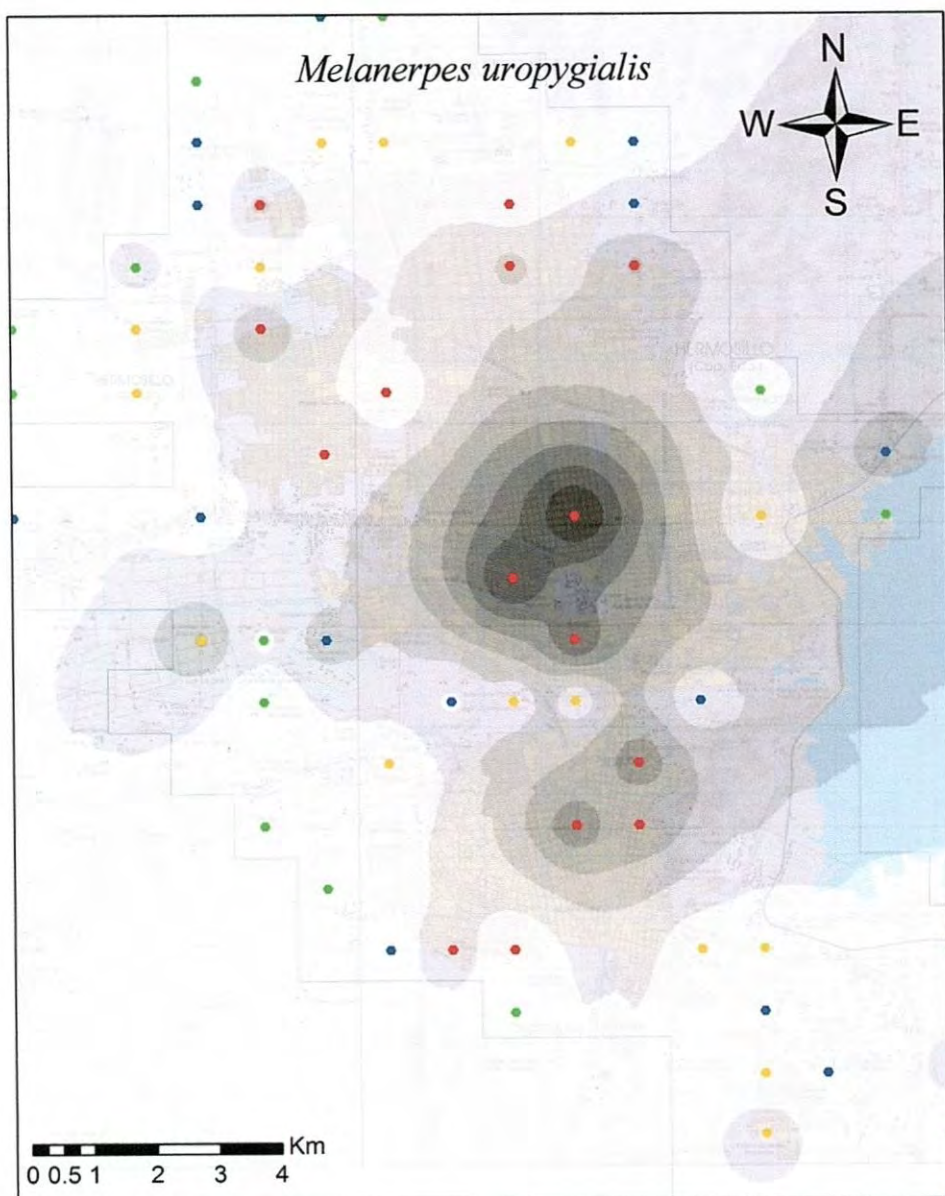
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 60-89%
- 30-59%
- 90-100%

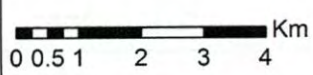
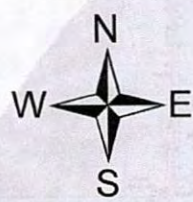
**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |  |         |  |         |  |         |  |         |
|--|---------|--|---------|--|---------|--|---------|
|  | 0 - 115 |  | 231-240 |  | 461-575 |  | 691-805 |
|  | 116-230 |  | 241-460 |  | 576-690 |  | 806-920 |

Figura 18. Variación espacial de la densidad de *Cynanthus latirostris* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



*Melanerpes uropygialis*



**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 30-59%
- 60-89%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

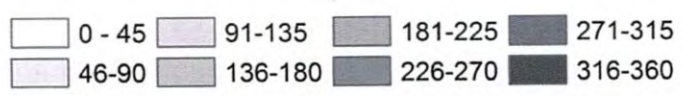
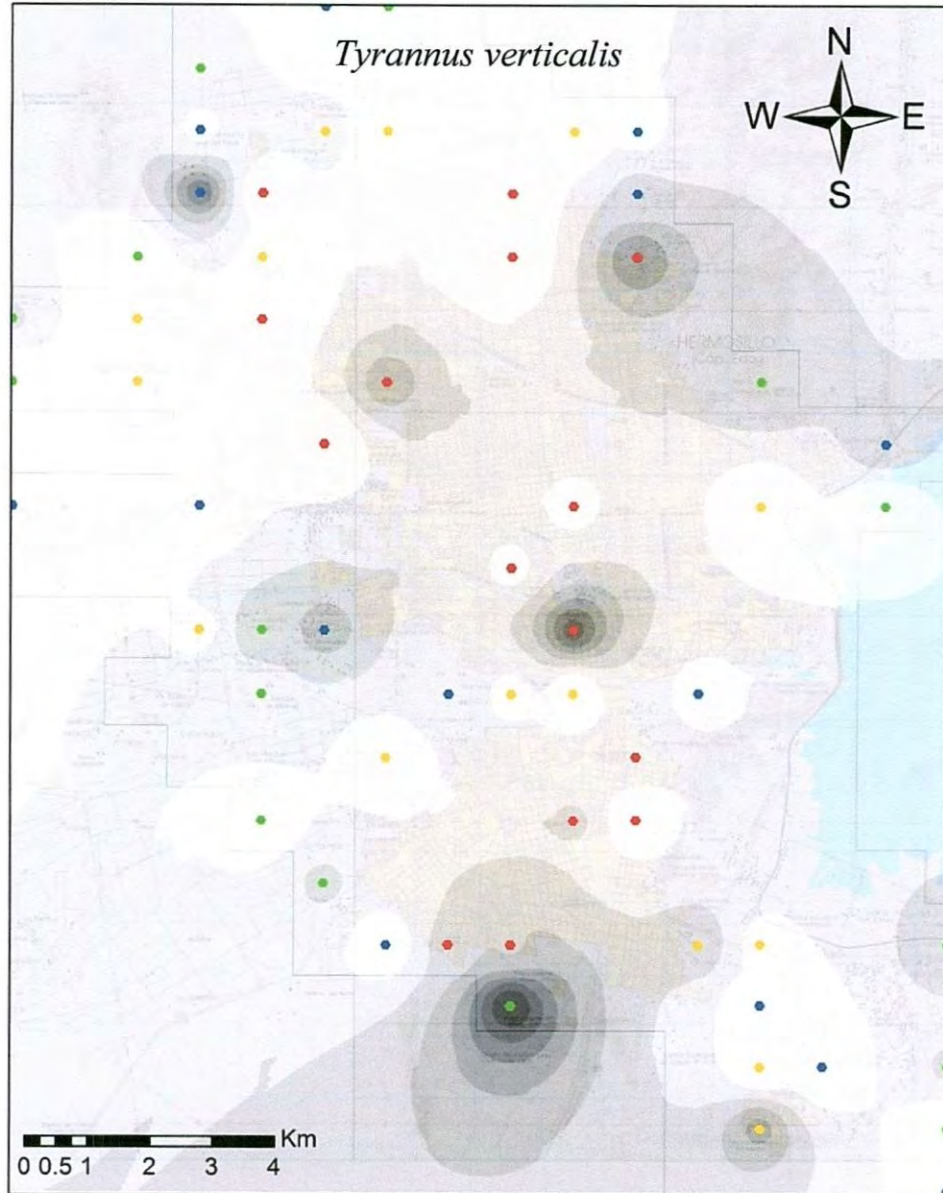


Figura 19. Variación espacial de la densidad de *Melanerpes uropygialis* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.





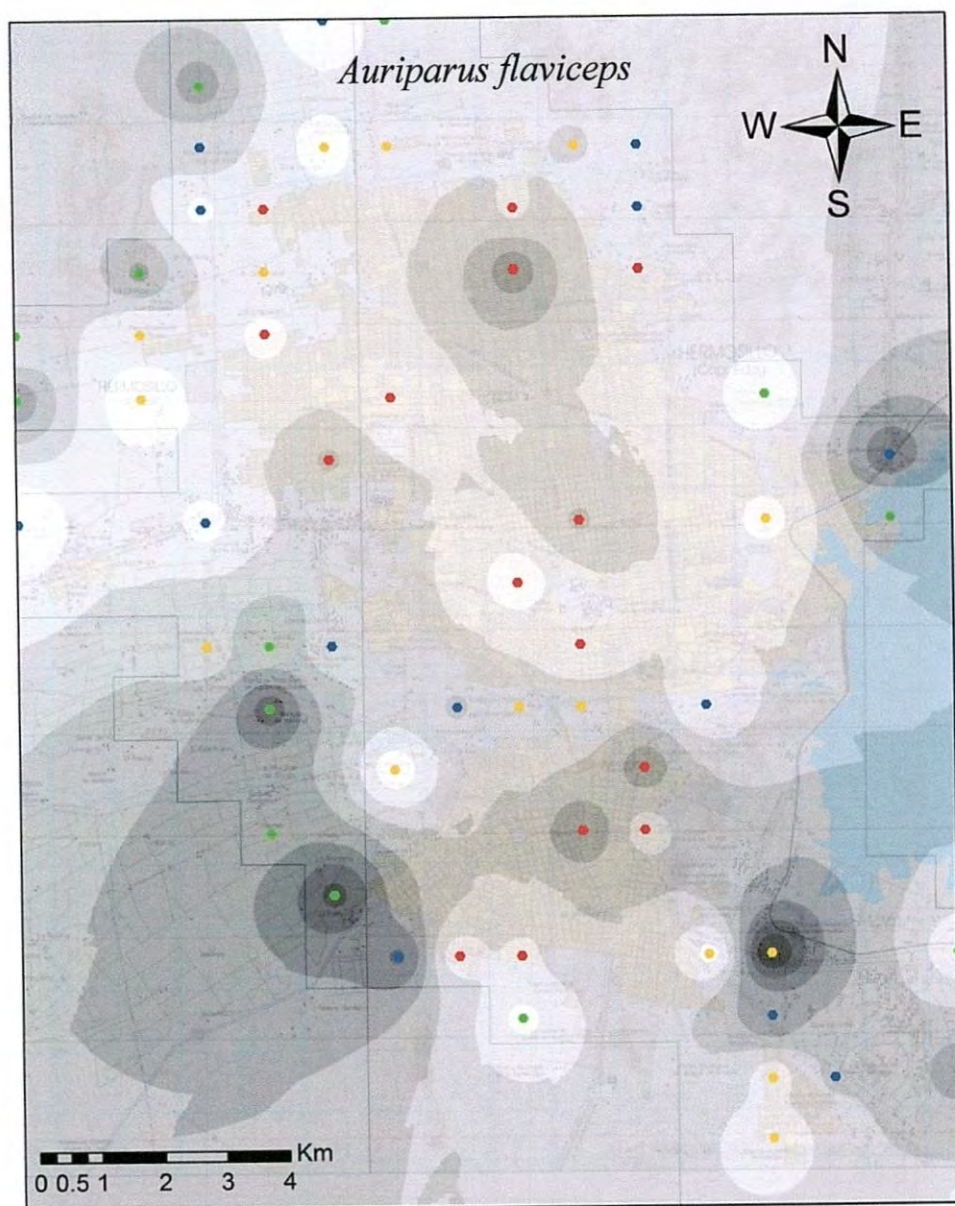
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 60-89%
- 30-59%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| □ 0-10  | □ 21-30 | □ 41-50 | □ 61-70 |
| □ 11-20 | □ 31-40 | □ 51-60 | □ 71-80 |

Figura 20. Variación espacial de la densidad de *Tyrannus verticalis* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 60-89%
- 30-59%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |          |           |           |           |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| □ 0-96   | □ 197-290 | □ 391-490 | □ 586-685 |
| □ 97-196 | □ 291-390 | □ 491-585 | □ 686-780 |

Figura 21. Variación espacial de la densidad de *Auriparus flaviceps* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

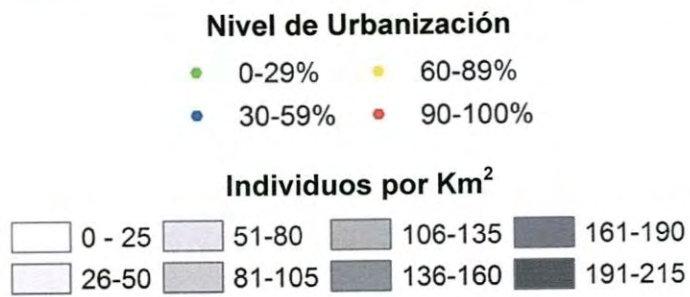
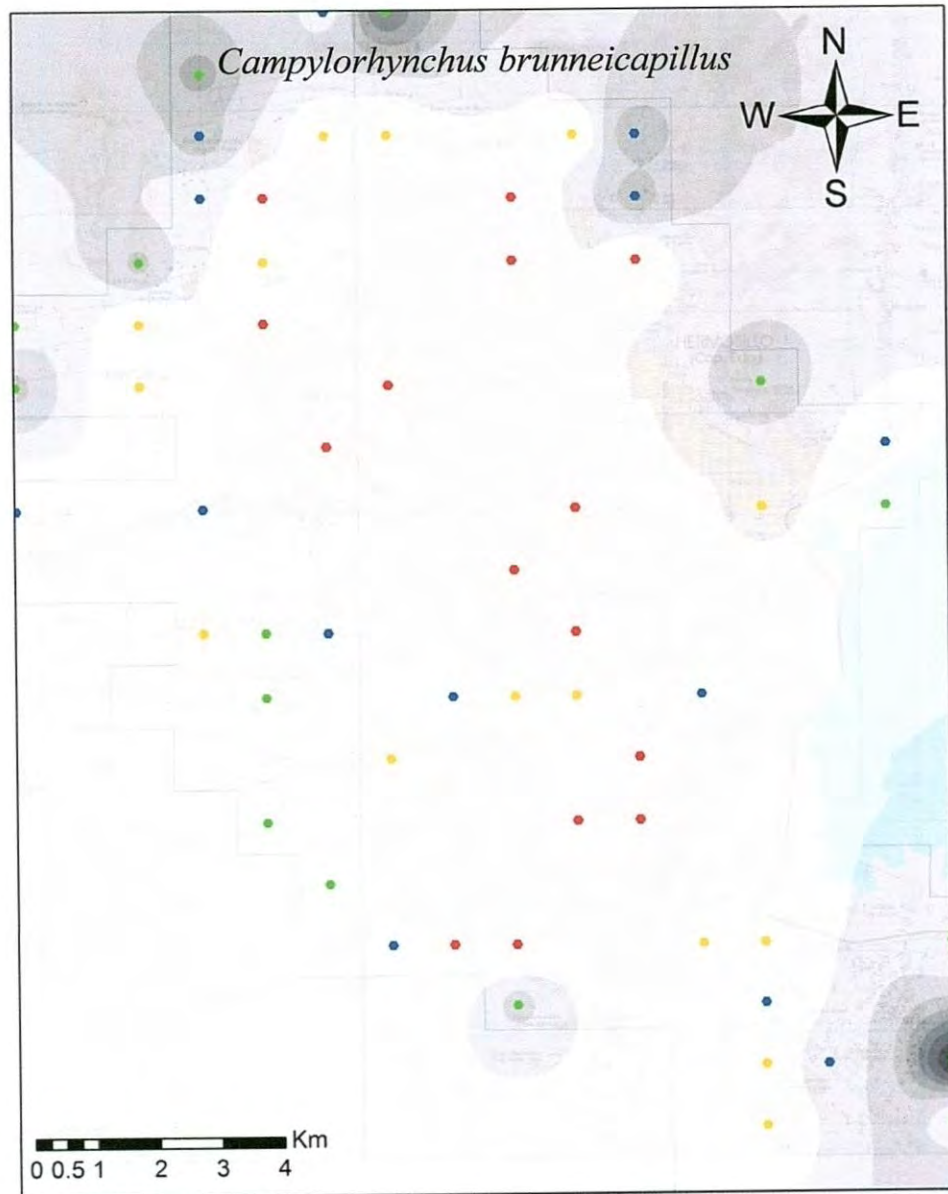
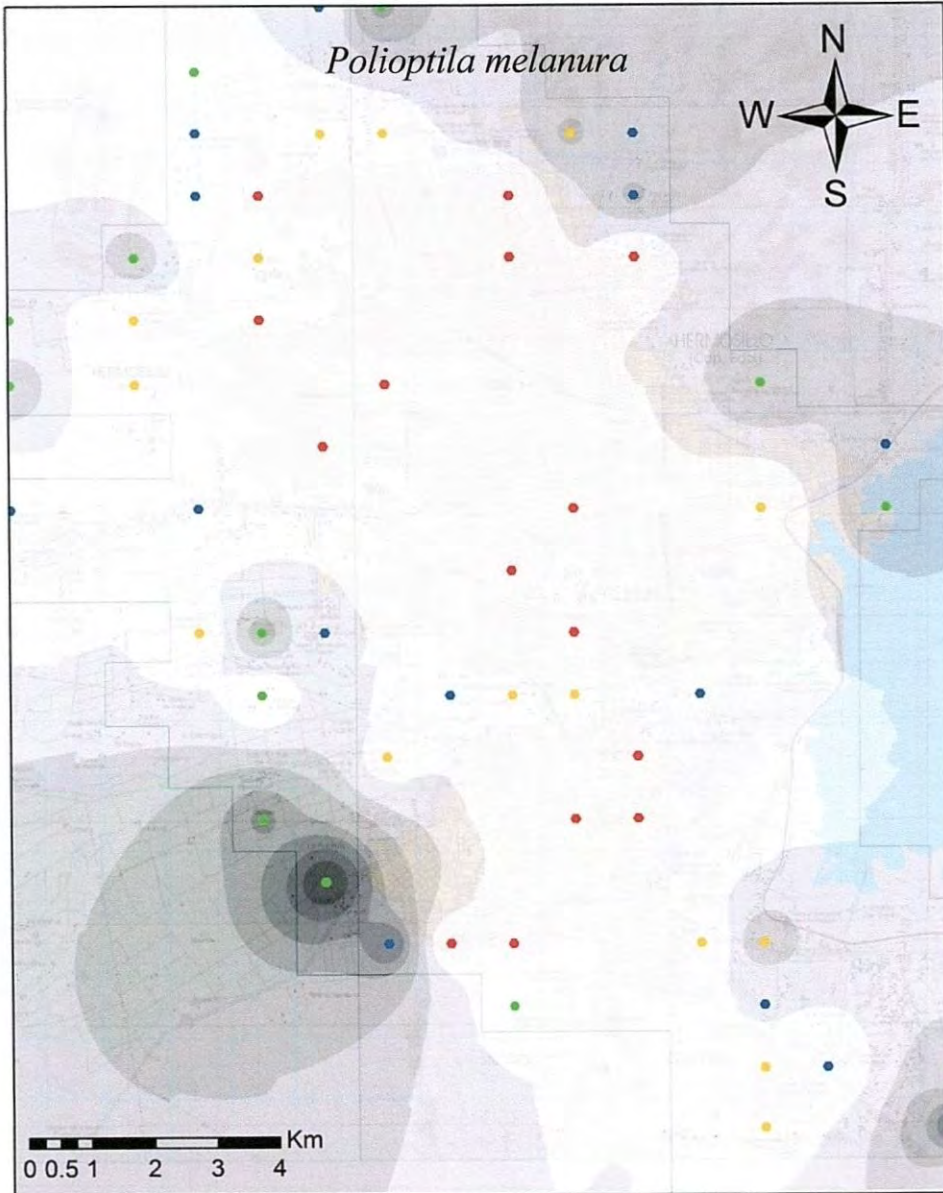


Figura 22. Variación espacial de la densidad de *Campylorhynchus brunneicapillus* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



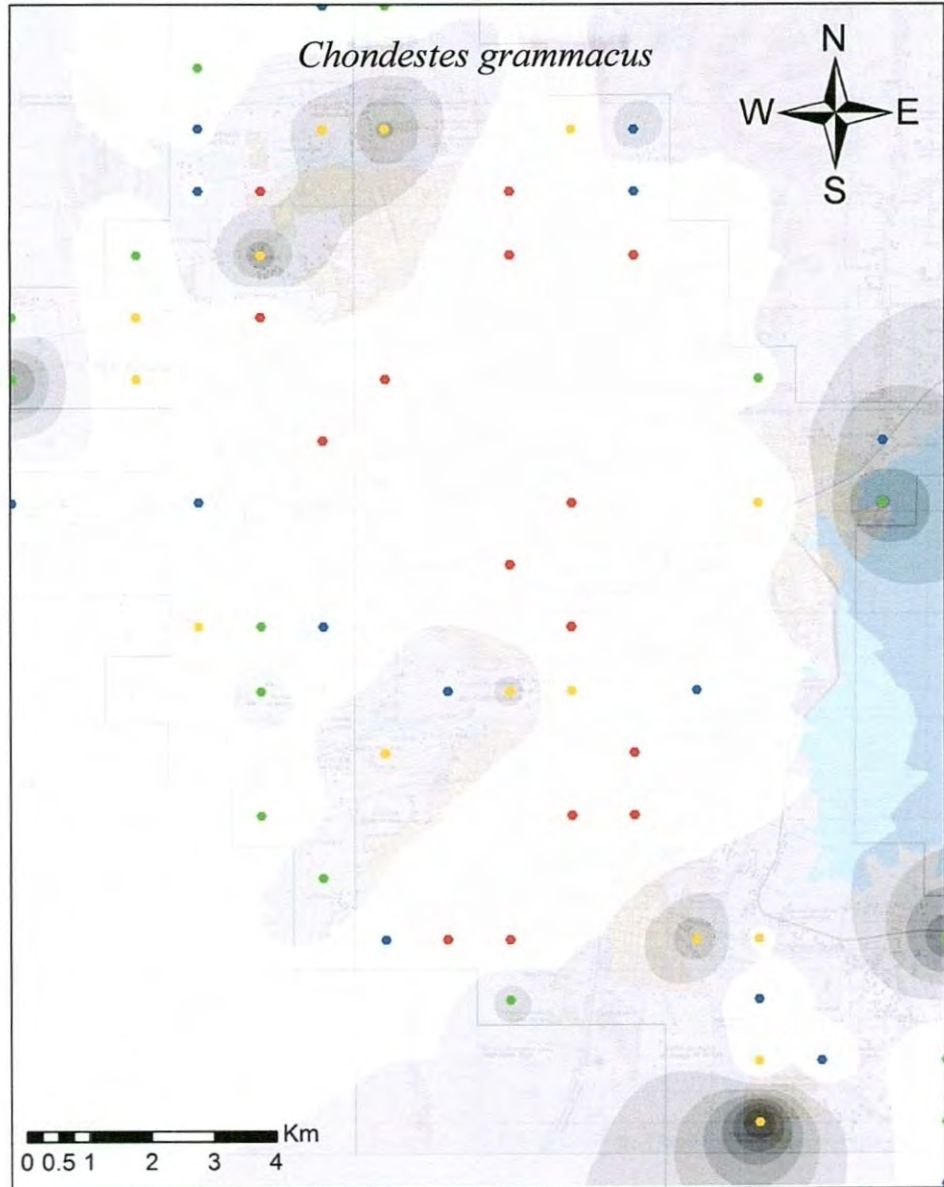
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 30-59%
- 60-89%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |          |           |           |           |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| □ 0-82   | □ 163-242 | □ 353-410 | □ 491-570 |
| □ 83-162 | □ 243-352 | □ 411-490 | □ 571-650 |

Figura 23. Variación espacial de la densidad de *Polioptila melanura* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



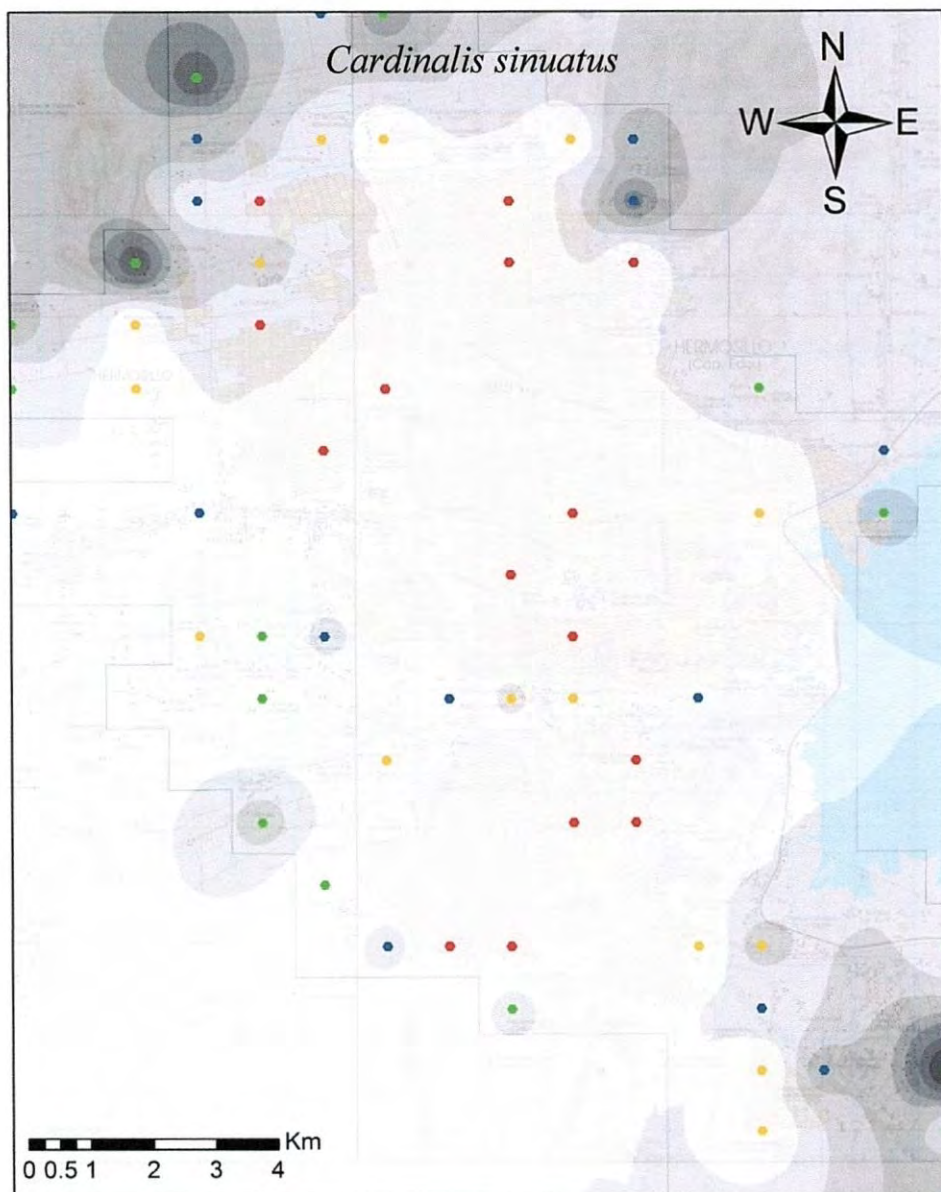
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%      ● 60-89%
- 30-59%    ● 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |  |       |  |         |  |         |  |         |
|--|-------|--|---------|--|---------|--|---------|
|  | 0-40  |  | 81-120  |  | 161-200 |  | 236-275 |
|  | 41-80 |  | 121-160 |  | 201-235 |  | 276-315 |

Figura 24. Variación espacial de la densidad de *Chondestes grammacus* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



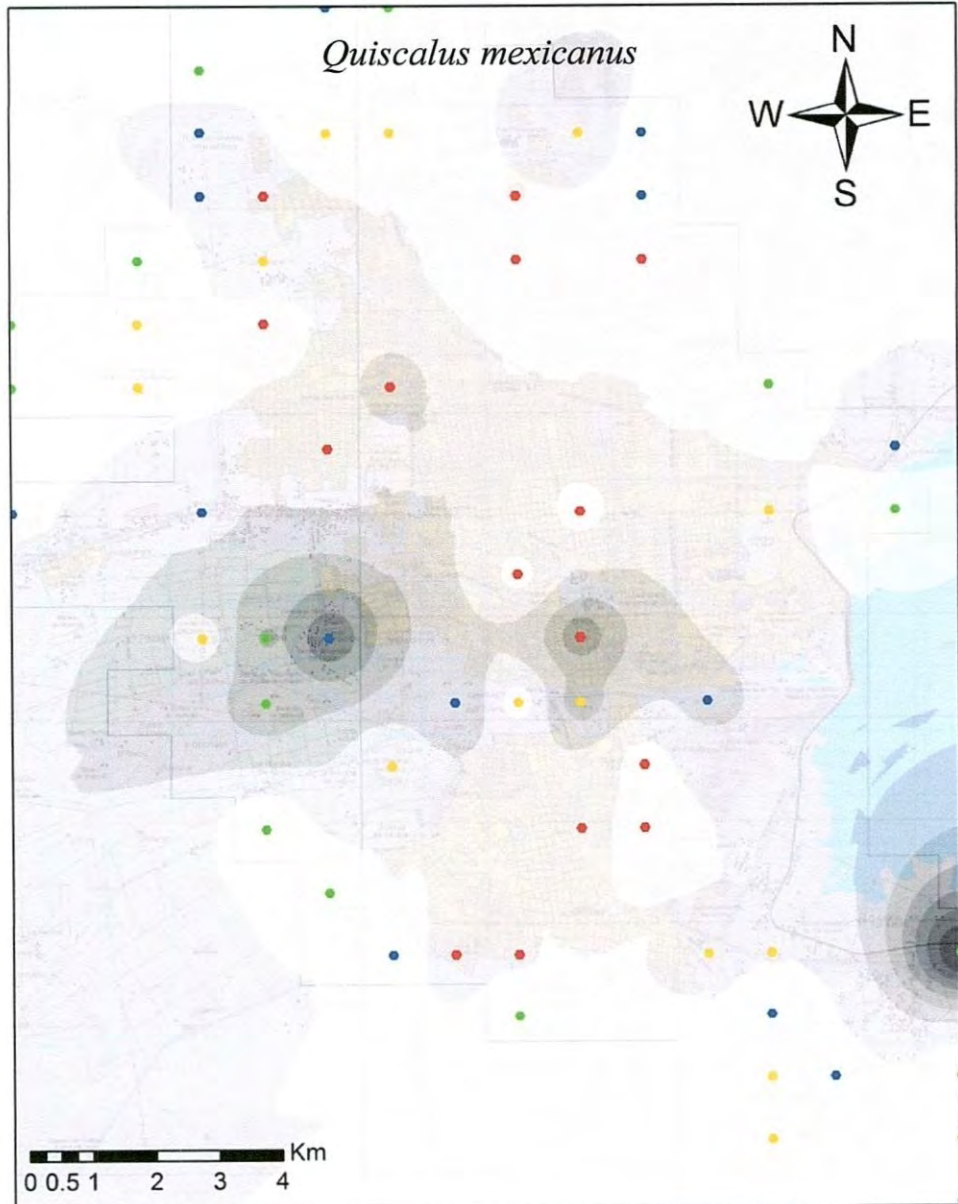
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%      ● 60-89%
- 30-59%    ● 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
|      |       |       |       |
| 0-6  | 13-18 | 26-30 | 39-44 |
|      |       |       |       |
| 7-12 | 19-25 | 31-38 | 45-50 |

Figura 25. Variación espacial de la densidad de *Cardinalis sinuatus* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



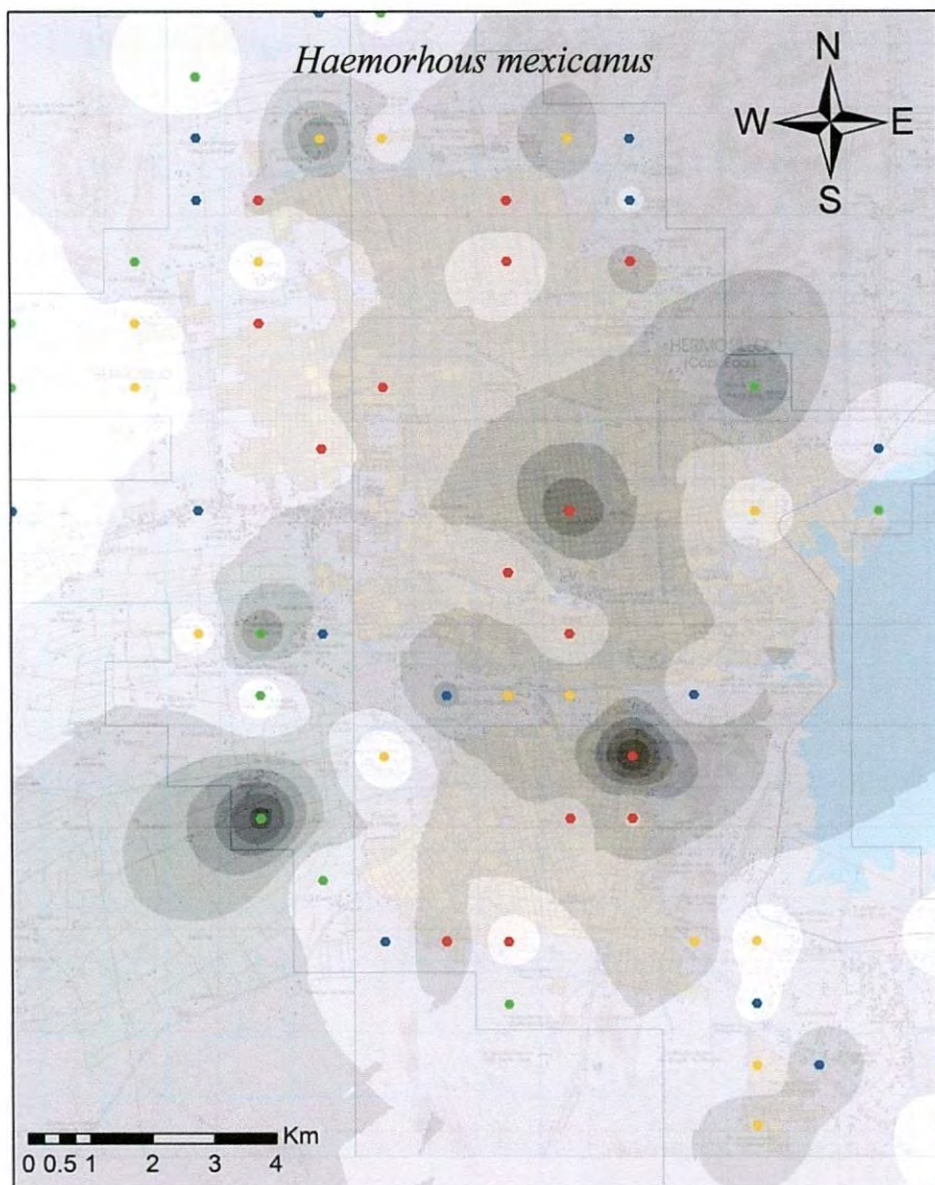
**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 30-59%
- 60-89%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |         |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| □ 0-40  | □ 81-120  | □ 161-200 | □ 241-280 |
| □ 41-80 | □ 121-160 | □ 201-240 | □ 281-315 |

Figura 26. Variación espacial de la densidad de *Quiscalus mexicanus* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.



**Nivel de Urbanización**

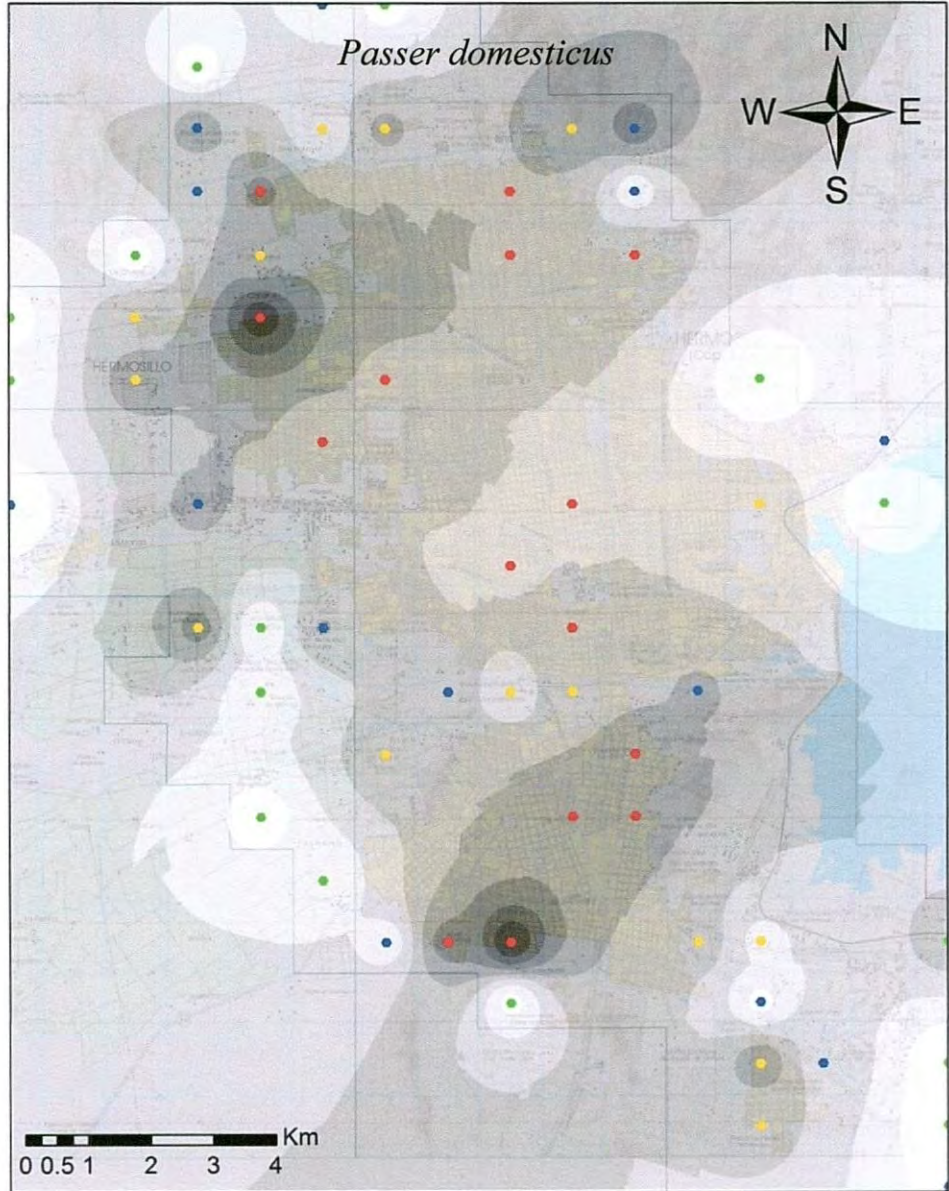
- 0-29%
- 60-89%
- 30-59%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| 0-105   | 211-315 | 421-530 | 631-740 |
| 106-210 | 316-420 | 531-630 | 741-850 |

Figura 27. Variación espacial de la densidad de *Haemorrhous mexicanus* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.





**Nivel de Urbanización**

- 0-29%
- 60-89%
- 30-59%
- 90-100%

**Individuos por Km<sup>2</sup>**

- |  |         |  |             |  |             |  |             |
|--|---------|--|-------------|--|-------------|--|-------------|
|  | 0-480   |  | 971-1,450   |  | 1,941-2,420 |  | 2,901-3,400 |
|  | 481-970 |  | 1,451-1,940 |  | 2,421-2,900 |  | 3,401-3,880 |

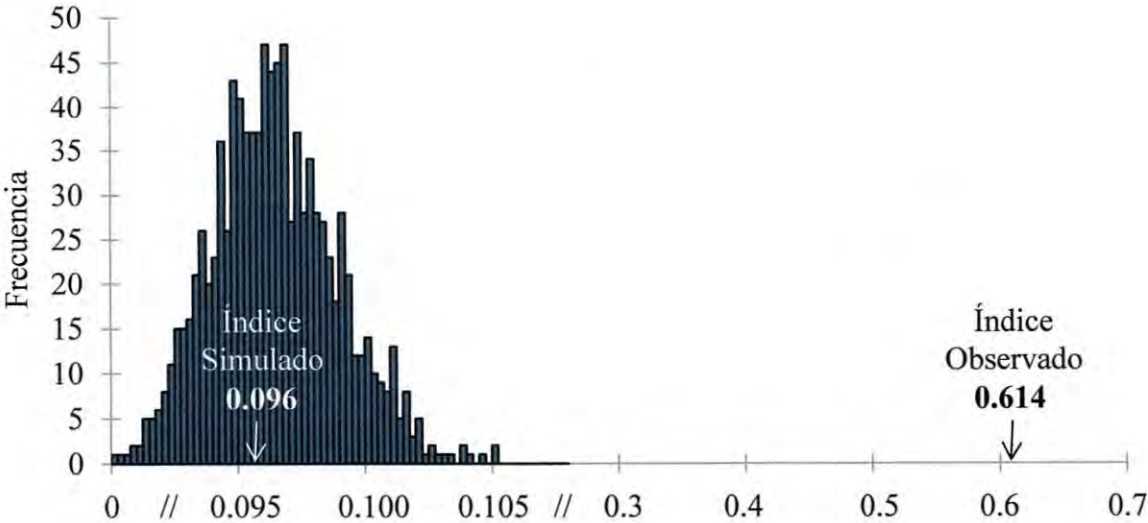
Figura 28. Variación espacial de la densidad de *Passer domesticus* durante la temporada reproductiva de 2013 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Al observar los mapas de distribución de las 16 especies analizadas en *DISTANCE*, se observan diferentes tendencias de distribución (Tabla 7). Algunas especies presentan una densidad más alta en niveles de urbanización intermedia (*S. decaocto*), otras especies presentan una densidad baja en zonas de urbanización intermedia (*T. verticalis*). Varias especies siguen la tendencia esperada, un aumento en la densidad conforme aumenta el nivel de urbanización (*C. livia*, *C. inca*, *M. uropygialis* y *H. mexicanus*), mientras otras especies presentan una tendencia inversa, un aumento en la densidad conforme disminuye el nivel de urbanización (*A. flaviceps*, *C. brunneicapillus*, *P. melanura* y *C. sinuatus*).

**IV.5. Estructura de la comunidad**

**IV.5.1. Prueba de hipótesis nula**

Los datos de conteos de aves muestran evidencia de que la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo no es una muestra aleatoria de aves nativas y exóticas, por lo que existen interacciones interespecíficas o similitudes entre rangos de tolerancia que producen asociaciones entre las especies (prueba del modelo nulo en *EcoSimR*  $\bar{O}_{ij}(Obs) = 0.614$  y  $\bar{O}_{ij}(Sim) = 0.096$ ,  $P < 0.0001$ ,  $IC95\%(\bar{O}_{ij}(Sim) = 0.092, 0.101)$ ; Figura 29).



Índices de traslape de Pianka simulados bajo modelos nulos de no interacción.

Figura 29. Distribución de muestreo del promedio del índice de traslape de Pianka  $\bar{O}_{ij}$  generada mediante simulaciones en *EcoSimR* al probar el modelo nulo.

#### IV.5.2. Análisis de asociación

En la Tabla 8 se muestran las características obtenidas para cada una de las especies identificadas.

Existe evidencia de que existe una relación entre las variables ambientales urbanas y las características intrínsecas de las especies (Apéndice 19; prueba *Fourth Corner* basada en 9,999 permutaciones,  $S_{RLQ} = 2.01$ ,  $P < 0.0001$ ).

Los resultados indicaron que las especies con un tamaño corporal grande (100-500 g) se asocian positivamente con hábitats con un nivel de urbanización del 30-59% y del 90-100%, con hábitats de tipo calle principal, y hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 0-10%. Los individuos con un tamaño corporal grande representan el 38% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo. Algunas de las especies más representativas que caen dentro de esta categoría son: *C. livia*, *S. decaocto*, *Z. asiática*, *Z. macroura* y *Q. mexicanus* (Tabla 8).

El análisis reveló que las especies que se alimentan exclusivamente de semillas se asocian positivamente con hábitats con un nivel de urbanización del 0-29%, del 30-59% y del 90-100%, con hábitats de tipo baldío, monte, parque, residencial pavimentado y residencial sin pavimentar, y hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 0-10% y del 26-50%. También se identificó que estas especies se asocian negativamente con hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 51-80%. Los individuos que se alimentan exclusivamente de semillas representan el 41% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo. Algunas de las especies más representativas que caen dentro de esta categoría son: *C. livia*, *S. decaocto*, *Z. asiática*, *Z. macroura*, *C. inca*, *M. fusca* y *C. sinuatus* (Tabla 8).

El análisis identificó que las especies que se alimentan de néctar se correlacionan con hábitats de tipo monte con pendiente. Los individuos que se alimentan de néctar representan el 2% de la comunidad de aves de la ciudad y las dos especies que caen dentro de esta categoría son *Selasphorus sp* y *C. latirostris*.

Tabla 8. Características intrínsecas para cada especie identificada.

<b>Nombre científico</b>	<b>Huevos por Anidada</b>	<b>Estrato de Reproducción</b>	<b>Estrategia Alimenticia</b>	<b>Estrato de Alimentación</b>
<i>Callipepla gambelii</i>	11	Suelo	Semillas	Suelo
<i>Coragyps atratus</i>	2	Risco	Carroña	Suelo/Aéreo
<i>Cathartes aura</i>	2	Risco	Carroña	Suelo/Aéreo
<i>Elanus leucurus</i>	4	Árbol	Rapaz	Suelo/Aéreo
<i>Circus cyaneus</i>	4.5	Suelo	Rapaz	Suelo/Aéreo
<i>Accipiter cooperii</i>	4	Árbol	Rapaz	Aéreo
<i>Buteo swainsoni</i>	2.5	Árbol	Rapaz	Suelo/Aéreo
<i>Buteo jamaicensis</i>	3	Árbol	Rapaz	Suelo/Aéreo
<i>Columba livia</i>	2	Edificio	Semillas	Suelo
<i>Streptopelia decaocto</i>	2	Árbol	Semillas	Suelo
<i>Zenaida asiática</i>	2	Árbol	Semillas	Suelo
<i>Zenaida macroura</i>	2	Árbol	Semillas	Suelo
<i>Columbina inca</i>	2	Árbol-Arbusto	Semillas	Suelo
<i>Geococcyx californianus</i>	4.5	Árbol-Arbusto	Omnívoro	Suelo
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	4	Árbol	Insectos	Suelo
<i>Athene cunicularia</i>	7	Cavidad	Rapaz	Suelo
<i>Chordeiles acutipennis</i>	2	Suelo	Insectos	Aéreo
<i>Selasphorus sp</i>	2	Árbol	Néctar	Aéreo
<i>Cynanthus latirostris</i>	2	Árbol	Néctar	Aéreo
<i>Melanerpes uropygialis</i>	4	Cavidad	Omnívoro	Corteza
<i>Picoides scalaris</i>	5	Cavidad	Insectos	Corteza
<i>Colaptes chrysoides</i>	4	Cavidad	Insectos	Corteza
<i>Falco sparverius</i>	4.5	Cavidad	Rapaz	Suelo
<i>Falco columbarius</i>	4.5	Árbol	Rapaz	Aéreo
<i>Falco peregrinus</i>	3.5	Risco	Rapaz	Aéreo
<i>Myiopsitta monachus</i>	6	Follaje	Semillas o fruta	Suelo/Follaje
<i>Amazona albifrons</i>	3.4	Cavidad	Semillas o fruta	Follaje
<i>Tyrannus verticalis</i>	4.5	Árbol-Arbusto	Insectos	Aéreo
<i>Empidonax sp</i>	4	Cavidad	Insectos	Aéreo
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	2.5	Árbol	Insectos	Aéreo

Tabla 8. Características intrínsecas para cada especie identificada.

Nombre científico	Huevos por Anidada	Estrato de Reproducción	Estrategia Alimenticia	Estrato de Alimentación
<i>Myiarchus cinerascens</i>	4.3	Cavidad	Insectos	Follaje
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	4.6	Cavidad	Insectos	Aéreo
<i>Vireo bellii</i>	3.8	Árbol-Arbusto	Insectos	Follaje
<i>Lanius ludovicianus</i>	5.4	Árbol	Rapaz	Follaje
<i>Corvus corax</i>	5.4	Risco	Omnívoro	Suelo
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	6	Cavidad	Insectos	Aéreo
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	3.3	Risco	Insectos	Aéreo
<i>Auriparus flaviceps</i>	4	Árbol-Arbusto	Insectos-semilla o fruta	Follaje
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	3	Arbusto	Insectos	Suelo
<i>Poliophtila melanura</i>	4	Árbol	Insectos	Follaje
<i>Toxostoma curvirostre</i>	2.8	Arbusto	Insectos	Suelo
<i>Toxostoma bendirei</i>	3	Arbusto	Insectos	Suelo
<i>Mimus polyglottos</i>	4	Árbol-Arbusto	Omnívoro	Suelo
<i>Sturnus vulgaris</i>	4.6	Cavidad	Insectos-semilla o fruta	Suelo
<i>Phainopepla nitens</i>	3	Árbol	Insectos-semilla o fruta	Follaje
<i>Oreothlypis celata</i>	4.5	Suelo	Insectos	Follaje
<i>Oreothlypis luciae</i>	4.5	Cavidad	Insectos	Follaje
<i>Setophaga petechia</i>	4.5	Árbol-Arbusto	Insectos	Follaje
<i>Setophaga coronata</i>	4.5	Árbol	Insectos	Follaje
<i>Setophaga townsendi</i>	5	Árbol	Insectos	Follaje
<i>Cardellina pusilla</i>	4	Suelo	Insectos	Follaje
<i>Icteria virens</i>	3.6	Arbusto	Insectos-semilla o fruta	Follaje
<i>Melospiza fusca</i>	3	Árbol-Arbusto	Semillas	Suelo
<i>Peucaea carpalis</i>	3.6	Arbusto	Semillas o fruta	Suelo
<i>Spizella breweri</i>	3.2	Arbusto	Insectos	Follaje
<i>Chondestes grammacus</i>	3.9	Suelo	Insectos-semilla o fruta	Suelo

Tabla 8. Características intrínsecas para cada especie identificada.

<b>Nombre científico</b>	<b>Huevos por Anidada</b>	<b>Estrato de Reproducción</b>	<b>Estrategia Alimenticia</b>	<b>Estrato de Alimentación</b>
<i>Zonotrichia leucophrys</i>	5	Arbusto	Insectos-semilla o fruta	Suelo
<i>Piranga ludoviciana</i>	4	Árbol	Insectos-semilla o fruta	Follaje
<i>Cardinalis cardinalis</i>	3	Arbusto	Semillas	Suelo
<i>Cardinalis sinuatus</i>	3.2	Arbusto	Semillas	Suelo
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	3	Árbol	Insectos-semilla o fruta	Follaje
<i>Passerina versicolor</i>	4	Arbusto	Insectos-semilla o fruta	Follaje
<i>Agelaius phoeniceus</i>	3	Arbusto	Insectos-semilla o fruta	Suelo
<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i>	3.7	Arbusto	Insectos-semilla o fruta	Suelo
<i>Euphagus cyanocephalus</i>	3.8	Arbusto	Insectos-semilla o fruta	Suelo
<i>Quiscalus mexicanus</i>	3.5	Árbol	Omnívoro	Suelo-Follaje
<i>Molothrus aeneus</i>	4	Parasito	Insectos-semilla o fruta	Suelo
<i>Molothrus ater</i>	4.3	Parasito	Insectos-semilla o fruta	Suelo
<i>Icterus cucullatus</i>	3.6	Árbol	Insectos-semilla o fruta	Follaje
<i>Icterus bullockii</i>	5	Árbol	Insectos-semilla o fruta	Follaje
<i>Haemorhous mexicanus</i>	4.5	Árbol-Arbusto	Semillas o fruta	Suelo-Follaje
<i>Passer domesticus</i>	5.1	Cavidad	Insectos-semilla o fruta	Suelo

Tabla 8. Características intrínsecas para cada especie identificada.

<b>Nombre científico</b>	<b>Estrategia Migratoria</b>	<b>Rango Latitudinal (°)</b>	<b>Peso Corporal (g)</b>	<b>Habito Social</b>
<i>Callipepla gambelii</i>	RR	16	169	Altamente social
<i>Coragyps atratus</i>	RR	86	2159	Altamente social
<i>Cathartes aura</i>	RR	94	2000	Poco social
<i>Elanus leucurus</i>	RR	81	346	Poco social
<i>Circus cyaneus</i>	M	39	458	Solitario
<i>Accipiter cooperii</i>	M	31	376	Solitario
<i>Buteo swainsoni</i>	RV	27	959	Altamente social
<i>Buteo jamaicensis</i>	RR	56	1126	Solitario
<i>Columba livia</i>	RR	113	323	Solitario o altamente social
<i>Streptopelia decaocto</i>	RR	32	172	Altamente social
<i>Zenaida asiática</i>	RR	24	153	Solitario o altamente social
<i>Zenaida macroura</i>	RR	37	112	Altamente social
<i>Columbina inca</i>	RR	24	51	Altamente social
<i>Geococcyx californianus</i>	RR	18	346	Solitario
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	RV	47	80	Altamente social
<i>Athene cunicularia</i>	RR	105	151	Solitario o en parejas
<i>Chordeiles acutipennis</i>	RV	32	49.9	Solitario
<i>Selasphorus sp</i>	M	20	3.3	Solitario
<i>Cyananthus latirostris</i>	RV	17	3.5	Solitario
<i>Melanerpes uropygialis</i>	RR	15	65	Solitario o en parejas
<i>Picoides scalaris</i>	RR	25	30	Solitario o en parejas
<i>Colaptes chrysoides</i>	RR	55	111	Solitario
<i>Falco sparverius</i>	RR	58	115	Solitario
<i>Falco columbarius</i>	M	26	187	Solitario
<i>Falco peregrinus</i>	M	50	1048	Solitario o en parejas
<i>Myiopsitta monachus</i>	RR	n/a	120	Altamente social
<i>Amazona albifrons</i>	RR	n/a	230	Altamente social
<i>Tyrannus verticalis</i>	RV	25	37.9	Solitario
<i>Empidonax sp</i>	M	27	10.4	Solitario

Tabla 8. Características intrínsecas para cada especie identificada.

<b>Nombre científico</b>	<b>Estrategia Migratoria</b>	<b>Rango Latitudinal (°)</b>	<b>Peso Corporal (g)</b>	<b>Habito Social</b>
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	RR	18	12.67	Solitario
<i>Myiarchus cinerascens</i>	RR	25	30	Solitario
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	RV	32	43.8	Solitario
<i>Vireo bellii</i>	RR	21	8.5	Solitario o en parejas
<i>Lanius ludovicianus</i>	RR	36	47.7	Solitario o en parejas
<i>Corvus corax</i>	RR	62	785	Solitario o en parejas
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	RV	47	14.6	Altamente social
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	RV	47	23.1	Solitario o altamente social
<i>Auriparus flaviceps</i>	RR	16	6.9	Solitario
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	RR	18	38.9	En parejas
<i>Poliophtila melanura</i>	RR	17	5.2	Solitario o en parejas
<i>Toxostoma curvirostre</i>	RR	21	85.2	En parejas
<i>Toxostoma bendirei</i>	RR	13	62.2	En parejas
<i>Mimus polyglottos</i>	RR	35	48.7	En parejas
<i>Sturnus vulgaris</i>	RR	35	86	Altamente social
<i>Phainopepla nitens</i>	RV	20	22.1	Solitario
<i>Oreothlypis celata</i>	M	34	9	Solitario
<i>Oreothlypis luciae</i>	M	9	6.6	Solitario
<i>Setophaga petechia</i>	M	48	9.8	Solitario
<i>Setophaga coronata</i>	M	31	12.1	Solitario
<i>Setophaga townsendi</i>	M	17	8.8	Solitario
<i>Cardellina pusilla</i>	M	33	7.5	Solitario
<i>Icteria virens</i>	RV	30	25.5	Solitario
<i>Melospiza fusca</i>	RR	21	44.4	Poco social
<i>Peucaea carpalis</i>	RR	9	14.1	En parejas
<i>Spizella breweri</i>	M	28	10.8	En parejas
<i>Chondestes grammacus</i>	M	27	29	Altamente social



Tabla 8. Características intrínsecas para cada especie identificada.

<b>Nombre científico</b>	<b>Estrategia Migratoria</b>	<b>Rango Latitudinal (°)</b>	<b>Peso Corporal (g)</b>	<b>Habito Social</b>
<i>Zonotrichia leucophrys</i>	M	35	26.5	Solitario o en parejas
<i>Piranga ludoviciana</i>	M	31	30	Poco social
<i>Cardinalis cardinalis</i>	RR	27	44	Solitario
<i>Cardinalis sinuatus</i>	RR	13	35.2	Solitario
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	M	34	47.1	Solitario o en parejas
<i>Passerina versicolor</i>	RV	17	13	Solitario
<i>Agelaius phoeniceus</i>	M	46	57.1	Altamente social
<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i>	M	28	69.5	Altamente social
<i>Euphagus cyanocephalus</i>	M	29	60.5	Altamente social
<i>Quiscalus mexicanus</i>	RR	39	168	Altamente social
<i>Molothrus aeneus</i>	RR	33	62.9	Altamente social
<i>Molothrus ater</i>	RR	40	42.2	Altamente social
<i>Icterus cucullatus</i>	RV	26	24.3	Solitario o en parejas
<i>Icterus bullockii</i>	M	26	36.3	Solitario o en parejas
<i>Haemorhous mexicanus</i>	RR	44	21.9	Altamente social
<i>Passer domesticus</i>	RR	114	28.5	Altamente social

M: migratoria, RR: residente reproductor, RV: reproductor de verano.

Los resultados también indicaron que las especies que se alimentan exclusivamente de insectos se relacionan negativamente con hábitats con un nivel de urbanización del 90-100% y con hábitats de tipo baldío. Los individuos que se alimentan exclusivamente de insectos representan el 6% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo. Algunas de las especies más representativas que caen dentro de esta categoría son: *T. verticalis*, *V. bellii*, *C. brunneicapillus*, *P. melanura*, *T. curvirostre* y *S. breweri* (Tabla 8).

El estudio demostró que las especies con un comportamiento altamente social se relacionan positivamente con hábitats con un nivel de urbanización del 60-89%, con hábitats de tipo calle principal y residencial sin pavimentar, y con hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 0-10%. Los individuos con un comportamiento altamente social representan el 65% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo. Algunas de las especies más representativas que caen dentro de esta categoría son: *C. aura*, *C. livia*, *S. decaocto*, *Z. asiática*, *Z. macroura*, *C. inca* y *A. flaviceps* (Tabla 8). También se identificó que las especies sociales facultativas (especies altamente sociales con capacidad de permanecer solitarias) se relacionan positivamente con hábitats con un nivel de urbanización del 90-100%, con hábitats de tipo calle principal, área comercial y residencial pavimentado, y con hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 0-10%. Los individuos sociales facultativos representan el 17% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo y solo tres especies caen bajo esta categoría: *O. luciae*, *S. coronata* y *P. domesticus*.

Los resultados señalaron que las especies que ponen menos de tres huevos por anidada se relacionan positivamente con hábitats con un nivel de urbanización del 90-100% y hábitats con un nivel del 0-29%, con hábitats de tipo baldíos, parques, residencial pavimentados y residencial sin pavimentar, y con hábitats con cobertura vegetal del 0-10% y del 51-80%. Los individuos que ponen menos de tres huevos por anidada representan el 44% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo. Algunas de las especies más representativas que caen dentro de esta categoría son: *C. aura*, *C. livia*, *S. decaocto*, *Z. asiática*, *Z. macroura*, *C. inca* y *C. latirostris* (Tabla 8). Por otra parte el análisis también identificó que las especies que ponen entre tres y cinco huevos por anidada se relacionan negativamente con hábitats con un nivel de urbanización del 60-89% y del 90-100%, con hábitats de tipo área comercial, residencial pavimentado y residencial sin pavimentar, y con un porcentaje de cobertura vegetal del 0-10%

y del 11-25%. Los individuos que ponen entre tres y cinco huevos por anidada representan el 30% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo. Algunas de las especies más representativas que caen dentro de esta categoría son: *M. uropygialis*, *T. verticalis*, *A. flaviceps*, *M. polyglottos* y *Q. mexicanus* (Tabla 8).

Con respecto al estrato reproductivo, el análisis reveló que las especies que anidan en edificios se relacionan positivamente con hábitats de tipo área comercial (la única especie bajo esta categoría es *C. livia* y representa el 8% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo); que las especies que actúan como parásitos al poner huevos en nidos de otras especies se correlacionan con hábitats de tipo transición entre baldío y monte (solo *M. aeneus* y *M. ater* caen bajo esta categoría y representan el 2% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo); y que las especies que anidan en cavidades se relacionan negativamente con hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 81-100% (los individuos que caen bajo esta categoría representan el 29% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo, algunas de las especies son (Tabla 8) *A. cunicularia*, *M. uropygialis* y *P. domesticus*).

Los resultados demostraron que las especies que presentan un rango de distribución menor a los 20° latitudinales se relacionan positivamente con hábitats de tipo monte y monte con pendiente, y hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 26-50%. Los individuos cuyo rango de distribución es menor 20° latitudinales representan el 13% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo. Algunas de las especies más representativas que caen dentro de esta categoría son: *C. gambelii*, *C. latirostris*, *M. uropygialis*, *A. flaviceps* y *C. brunneicapillus* (Tabla 8).

Finalmente, el estudio reveló respecto a la procedencia de las especies, que las especies no nativas o introducidas se relacionan positivamente con hábitats con un nivel de urbanización del 30-59%, del 60-89% y del 90-100%, que se correlacionan con hábitats de tipo baldío, calle principal, área comercial, parque, residencial pavimentado y residencial sin pavimentar, y con hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 0-10%. También se identificó que las especies introducidas se relacionan negativamente con hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 11-25%. Los individuos de las especies no nativas (Tabla 6) representan el 41% de la comunidad de aves de la ciudad. Por otro lado, los resultados mostraron que las especies nativas se correlacionan con hábitats de tipo parque y que se relacionan

negativamente con hábitats con niveles de urbanización del 60-89% y del 90-100%, con hábitats de tipo área comercial y residencial pavimentado, y con hábitats con un porcentaje de cobertura vegetal del 0-10% y del 11-25%. Los individuos de las especies nativas (Tabla 6) representan el 59% de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo.

De acuerdo a los resultados obtenidos no existe evidencia suficiente que apoye la hipótesis (1) de tamaño corporal. A diferencia de lo planteado en esta hipótesis, se obtuvo que las especies con un peso corporal relativamente grande (entre 100-500 gramos) presentan mayor afinidad con las zonas urbanas. Los resultados no apoyan la hipótesis de que entre menor sea el tamaño corporal del ave mayor será su asociación con el medio urbano (Figura 30).

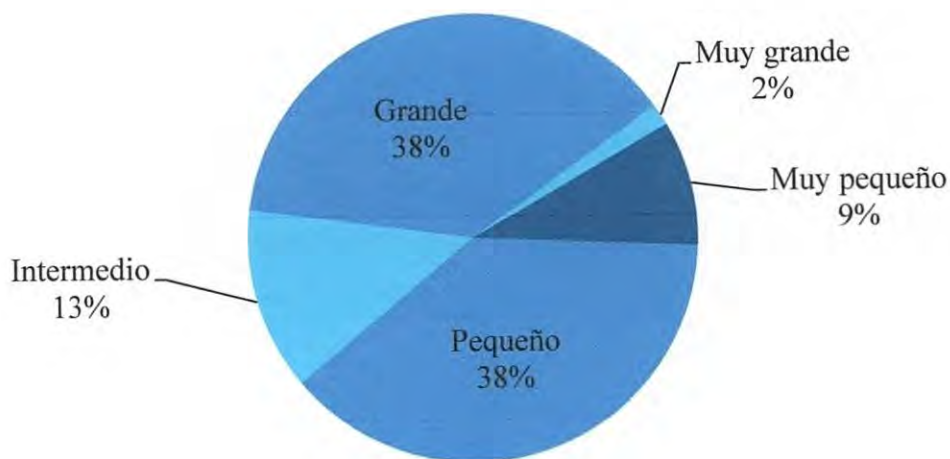


Figura 30. Proporción de individuos según su tamaño corporal.

Según los resultados no existe evidencia suficiente que apoye la hipótesis (2) de dietas generalistas. Podemos observar que el análisis no identificó una relación positiva o negativa entre la estrategia alimenticia “dieta generalista” y las condiciones urbanas. Por lo tanto los resultados no apoyan la hipótesis de que la comunidad urbana estará principalmente compuesta por especies con dietas generalistas (Figura 31).

## V. DISCUSIÓN

Las tendencias de abundancia y diversidad de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo siguen los patrones obtenidos por varios autores (por ejemplo Emlen, 1974; Mills *et al.* 1989; Clergeau *et al.* 1998; Hostetler, 2001; Melles *et al.* 2003; MacGregor-Fors *et al.* 2012). La abundancia aumenta al aumentar el nivel de urbanización y la diversidad de especies disminuye al aumentar el mismo (Figura 7). Ciertos autores atribuyen el incremento en la abundancia de ciertas especies a la alta disponibilidad de alimento en zonas urbanas (Emlen, 1974; Kark *et al.* 2007; Walker y Shochat 2010). Emlen (1974) menciona que en Tucson, Arizona existe una gran disponibilidad de semillas y sobras de comida. También menciona que en Estados Unidos existe la costumbre de colocar comederos de aves, lo cual hace fácil suponer que las especies que se alimentan principalmente de semillas gozarían de una disponibilidad de alimento constante. El presente estudio reveló que la abundancia de individuos es mayor en zonas con un mayor grado de urbanización por lo que suponemos existe una alta y permanente disponibilidad de alimento. La pérdida de diversidad en áreas con un nivel alto de urbanización no ha sido tan sencilla de explicar. Marzluff y Rodewald (2008) mencionan que el cambio en la estructura y composición de la comunidad vegetal de ambientes urbanos afecta la comunidad de aves urbanas, y atribuyen la pérdida de diversidad a la baja densidad de plantas nativas en zonas urbanas. Walker y Shochat (2010) mencionan que las especies nativas podrían ser más sensibles a los cambios en la vegetación y por lo mismo suelen permanecer en sitios más naturales, lo cual explicaría la amplia diversidad de sitios poco impactados. Los análisis de este estudio identificaron que existe una pérdida de diversidad al aumentar el grado de urbanización, lo cual podría deberse al cambio en la vegetación que sufren las zonas urbanas.

Del total de las 72 especies identificadas en Hermosillo, Sonora, seis son las especies más abundantes: *P. domesticus* (25%), *Z. asiatica* (9%), *S. decaocto* (8%), *C. livia* (8%), *Z. macroura* (8%) y *C. inca* (7%) (Figura 8). De estas seis especies, tres son no nativas y

componen el 41% de los individuos de la comunidad de aves en Hermosillo. El resto de las especies exóticas identificadas en Hermosillo, Sonora representan un porcentaje muy pequeño de la proporción de individuos de la comunidad (*Myiopsitta monachus* con 0.003%, *S. vulgaris* con 0.0017% y *Amazona albifrons* con 0.00018%), por lo que están agrupadas entre las 62 especies cuyos individuos componen el 20% de la comunidad de aves en Hermosillo. A manera de comparación vemos que Emlen (1974) identificó para la comunidad de aves urbanas de Tucson, Arizona un total de 35 especies de las cuales tres son especies introducidas (*C. inca*, *P. domesticus* y *S. vulgaris*) y en 1974 representaron el 65% de los individuos de la comunidad de aves (en esta tesis *C. inca* no es considerada como especie exótica para la ciudad de Hermosillo). Por otro lado, Mills *et al.* (1989) mencionan en su estudio que la misma comunidad de Tucson, Arizona está compuesta principalmente por las tres especies exóticas que menciona Emlen (1974) (*C. inca*, *P. domesticus* y *S. vulgaris*), sin embargo mencionan que de las 54 especies que identificaron en total, solo 8 son especies exóticas; el 84% de las especies identificadas son nativas. Green y Baker (2003) muestrearon el área metropolitana de Phoenix, Arizona e identificaron un total 118 especies de las cuales solo cinco son introducidas: *P. domesticus* (siendo esta la más abundante de las especies exóticas) *S. vulgaris*, *Agapornis roseicollis*, *Nymphicus hollandicus* y *Streptopelia roseogrisea*. Los resultados del presente estudio se asemejan a los resultados obtenidos para la ciudad de Tucson. La ciudad de Hermosillo alberga más especies y esto puede deberse a la abundante cantidad de especies migratorias que utilizan esta zona del Desierto. Todas las comunidades de aves mencionadas anteriormente pertenecen zonas urbanas contiguas (ubicadas en zonas áridas), por lo que presentan especies en común.

Son varios los artículos que han detectado abundantemente alguna de estas especies exóticas en zonas urbanas. Clergeau *et al.* (1998) encontraron que *P. domesticus*, *C. livia* y *S. vulgaris*, representan el 90% de los individuos que componen la comunidad de aves urbanas en Quebec. Crooks *et al.* (2004) mencionan que en promedio, *P. domesticus*, *C. livia* y *S. vulgaris*, junto con *H. mexicanus*, son 10 veces más abundantes en las zonas urbana de San Diego County, California (Estados Unidos) que en el medio natural. La amplia distribución y abundancia de las especies exóticas parecieran indicar una tendencia hacia la homogenización taxonómica, sin embargo como se menciona anteriormente sobre los estudios en zonas áridas

de Emlen (1974), Mills *et al.* (1989) y Green y Baker (2003), las comunidades de aves están compuestas principalmente por individuos de especies nativas, tal como se concluye en el estudio de Aronson *et al.* (2014). Esto concuerda con los resultados del presente estudio ya que para la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo, los individuos de especies nativas representan el 59% de la comunidad (Figura 8), incluso en las zonas con niveles de urbanización del 90-100% (52%; Figura 12).

La mayor parte de las especies abundantes de la ciudad de Hermosillo pertenecen al orden Columbiformes. Al observar las características de historia de vida de estas especies es fácil comprender porque son abundantes. Las cinco especies de palomas o tortolitas son especies altamente sociales o sociales facultativas que se alimentan exclusivamente de semillas, ambas características se correlacionan con áreas urbanizadas. Cuatro de las cinco especies (*C. livia*, *S. decaocto*, *Z. asiatica* y *Z. macroura*) caen dentro de la categoría de peso corporal grande (100-500 g) y según los resultados de este estudio presentan mayor afinidad con zonas urbanas.

Los análisis identificaron que existe una correlación entre zonas urbanas y especies que se encuentran dentro del rango de 100-500 gramos de peso corporal. El 38% de los individuos de la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo caen dentro de esta categoría de peso (Figura 30). La proporción de individuos pareciera indicar que estas especies no son las más abundantes en zonas urbanas, sin embargo sí son las más abundantes en zonas con un nivel de urbanización del 90-100%, las especies de menor peso corporal se distribuyen principalmente en zonas con un nivel de urbanización del 0-29%. En este aspecto Kark *et al.* (2007) encontraron que los pesos corporales de las especies que componen la comunidad de aves de Jerusalén disminuyen al disminuir el nivel de urbanización. La variación de pesos corporales según el nivel de urbanización identificado en este trabajo podría ser explicado haciendo referencia a los resultados obtenidos por Ikin *et al.* (2012) quienes identificaron que las especies de mayor tamaño (<50 g) predominan en hábitats con poca cobertura vegetal (lo cual es un atributo clave de zonas urbanas).

Los resultados también indicaron que existe una relación positiva entre zonas urbanas y especies que se alimentan exclusivamente de semillas, de hecho la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo, Sonora está compuesta principalmente (41%; Figura 31) por individuos

de especies que se alimentan exclusivamente de semillas. En este aspecto Emlen (1974) también identifico que la mayor parte de la comunidad de aves de Tucson, Arizona también se alimentan exclusivamente de semillas. Menciona que a pesar de no haber plantas que proporcionen suficientes semillas o semillas adecuadas, existe una alta disponibilidad de semillas o granos en zonas urbanas. Kark *et al.* (2007) incluso identificaron que la proporción de aves que se alimentan exclusivamente de semillas o granos de la comunidad de aves de Jerusalén aumenta conforme se incrementa en nivel de urbanización. En este trabajo se propuso que dentro de la ciudad de Hermosillo habría mayor concentración de especies con dietas generalistas u omnívoras, sin embargo el análisis no encontró relación alguna. Walker y Shochat (2010) encontraron que la comunidad de aves de la zona metropolitana de Phoenix, Arizona está compuesta en mayor parte por especies omnívoras, mencionan también que las especies exclusivamente granívoras son abundantes pero que estas se localizan principalmente en zonas agrícolas o rurales.

El análisis también reveló que las especies que se alimentan exclusivamente de insectos evitan zonas urbanizadas, lo cual se ha detectado en otros estudios (Emlen, 1974; Kark *et al.* 2007; Walker y Shochat 2010). Walker y Shochat (2010) mencionan que la composición de la comunidad de insectos se ve severamente afectada por el cambio urbano, lo cual tiene efectos directos sobre los rangos de distribución de las especies de aves que se alimentan exclusivamente de insectos.

La permanencia de las especies en zonas urbanas aparentemente depende de la disponibilidad de alimento, no tanto de la capacidad de las especies por consumir una amplia gama de alimentos (omnívoro). Esto se puede apreciar al comparar la proporción de individuos con dietas exclusivamente de semillas y con dietas exclusivamente de insectos de la comunidad de aves de Hermosillo. Como mencionan Walker y Shochat (2010) la comunidad urbana de insectos es completamente distinta a la comunidad de insectos en zonas naturales. Y como menciona Emlen (1974) en las zonas urbanas suele haber una alta disponibilidad de semillas, granos o sobras de comida.

Así mismo los resultados muestran que las especies altamente sociales y sociales facultativas se relacionan positivamente con zonas urbanas, de hecho la comunidad de aves de la ciudad de Hermosillo está principalmente compuesta por individuos altamente sociales



(65%; Figura 32). En este aspecto Kark *et al.* (2007) concluyeron que la principal característica de historia de vida de las especies que habitan en Jerusalén, es la capacidad de socializar. Mencionaron que la comunidad de aves de las ciudades están compuestas principalmente de especies que se alimentan, descansan y vuelan en grupos. Los autores atribuyen la alta proporción de aves en zonas urbanas a que estas especies tienen mejores oportunidades al momento de encontrar alimento, de competir por alimento con otras especies y de evadir posibles depredadores. Por otro lado, Emlen (1974) menciona que las especies poco sociales podrían ser poco abundantes dentro de zonas urbanas ya que algunas especies presentan conductas agresivas o territoriales hacia otros individuos de la misma especie durante la época de reproducción.

La ciudad de Hermosillo, Sonora está situada en el Desierto Sonorense por lo tanto se espera que produzca el efecto “oasis” mencionado por Rosenberg *et al.* (1987) y Bock *et al.* (2008). Dentro de la ciudad existen más sitios de resguardo y sombra los cuales son recursos naturalmente escasos en los límites de la ciudad. Otro atributo del “oasis” es la presencia de una mayor comunidad de plantas, tanto nativas como exóticas, dentro de la ciudad. La composición y estructura de la comunidad vegetal en zonas urbanas es crucial para la permanencia de las especies nativas (Marzluff y Rodewald, 2008). Si se comparan las comunidades de aves de zonas áridas y zonas templadas, se puede observar que en zonas áridas las especies exóticas están usualmente confinadas a las zonas urbanas (Bock *et al.* 2008) donde los efectos del clima y las severas condiciones del medio ambiente son mitigadas por el efecto “oasis”. Tal fue el caso en este estudio, las especies exóticas permanecen dentro de las zonas urbanas, específicamente en aquellas con un mayor grado de urbanización. Rara vez se les detectó alrededor de la ciudad. Otro aspecto que se observó en los resultados fue que varias especies nativas se han vuelto más abundantes dentro de las zonas urbanas. Esto podría implicar que existen condiciones ambientales, quizá además de la presencia de alimento, que podrían estar permitiendo que estas especies “prefieran” vivir en zonas urbanas, la ciudad podría realmente estar actuando como un oasis para dichas especies.

## VI. CONCLUSIONES

El nivel de urbanización afecta la distribución de las especies de aves en la ciudad de Hermosillo. Ciertas especies son más abundantes en zonas con menor grado de urbanización, otras son más abundantes en zonas con un mayor nivel de urbanización, incluso hay especies que son más abundantes en niveles de urbanización intermedios.

Las tendencias de abundancia y diversidad con respecto al nivel de urbanización, siguen el patrón encontrado en investigaciones previas. La abundancia de especies tiende a ser mayor entre mayor sea el nivel de urbanización, mientras que la diversidad de especies tiende a ser mayor entre menor sea el nivel de urbanización.

El 41% de los individuos detectados dentro de la ciudad y sus alrededores corresponden a tres especies no nativas: el gorrión común (*Passer domesticus*), la tórtola turca (*Streptopelia decaocto*) y la paloma bravía (*Columba livia*). Así mismo tenemos que el 40% de los individuos detectados dentro de la ciudad y sus alrededores pertenecen al orden Columbiformes (orden al que pertenecen palomas y tortolitas).

La comunidad de aves urbanas en Hermosillo, Sonora, no es una muestra aleatoria de especies nativas y no nativas. Por lo tanto, que existen procesos biológicos que producen asociaciones entre las especies y el medio ambiente.

Los resultados del análisis multivariado *Fourth Corner* muestran que la comunidad de aves urbanas de Hermosillo, Sonora, está compuesta principalmente de (1) especies de un tamaño corporal grande (100-500 g); (2) especies que se alimentan exclusivamente de semillas; y (3) especies con hábitos sociales.

## VII. RECOMENDACIONES

Los resultados de este estudio identificaron varias características urbanas que promueven la permanencia de especies nativas dentro de las zonas urbanas. A manera de utilizar estos resultados para mejorar las condiciones urbanas se propone que la expansión urbana se planee de tal forma que se conserven parches con vegetación nativa dentro de la ciudad. De igual forma, será de utilidad promover la siembra de plantas nativas en zonas residenciales y en camellones de avenidas principales. El análisis *Fourth Corner* identificó que las especies nativas se relacionan positivamente con parques, por lo que se recomienda establecer dentro de las zonas urbanas áreas con alta cobertura vegetal (nativa o no nativa), de preferencia árboles y arbustos (no pasto) que produzcan flores o frutos para que pueden ser utilizados como resguardo y que produzcan alimento para las especies de aves.

Se recomienda realizar censos anuales con los que se pueden identificar las tendencias poblacionales de las especies de aves de la ciudad de Hermosillo, ya que las especies exóticas no deseadas (*C. livia*) podrían llegar a salirse de control, si no se toman las medidas adecuadas a tiempo. A través de censos anuales se podrían también identificar posibles tendencias negativas de algunas especies clave (especies que se interesan conservar dentro de la ciudad) de tal forma que se podrían tomar medidas oportunas para lograr prevenir la pérdida de diversidad dentro de la ciudad. Para continuar con censos anuales que comparen la distribución de las aves según los distintos niveles de urbanización, se recomienda verificar el avance urbano de la ciudad y de ser necesario reasignar los niveles.

Durante el trabajo de campo, se observó cómo ciertos sitios de muestreo eran alterados localmente. Resultaría interesante, identificar algún sitio a ser pronto modificado e identificar cómo varían las especies del sitio conforme avance el cambio urbano, y de igual manera identificar con qué velocidad ocurre el cambio.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Alberti, M., E. Botsford y A. Cohen. 2001. Quantifying the urban gradient: linking urban planning and ecology. Pp. 89-115. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.), Avian ecology and conservation in an urbanizing world. Kluwer Academic Publishers, London.
- AOU (American Ornithologists' Union Online). 2013. Check-list of North American Birds. Acezado en septiembre del 2013 en: <http://checklist.aou.org/taxa/>
- Aronson, M. F., F. A. La Sorte, C. H. Nilon, M. Katti, M. A. Goddard, C. A. Lepczyk, P. S. Warren, N. S. G. Williams, S. Cilliers, B. Clarkson, C. Dobbs, R. Dolan, M. Hedblom, S. Klotz, J. L. Kooijmans, I. Kühn, I. MacGregor-Fors, M. McDonnell, U. Mörtberg, P. Pyšek, S. Siebert, J. Sushinsky, P. Werner y M. Winter. 2014. A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1780).
- BBS (North America Breeding Bird Survey). 2013. Training. Disponible en: <http://www.pwrc.usgs.gov/bbs/participate/training/>
- Bibby, C., M. Jones y S. Marsden. 1998. Expedition Field Techniques: Bird Surveys. Expedition Advisory Centre, Royal Geographical Society, London.
- Blair, B. B. 2001. Creating a homogeneous avifauna. Pp. 459-486. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.), Avian ecology and conservation in an urbanizing world. Kluwer Academic Publishers, London.
- Blair, R.B. 1996. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications*, 6:506-519.
- Bled, F., J. A. Royle y E. Cam. 2011. Hierarchical modeling of an invasive spread: the Eurasian Collared-Dove *Streptopelia decaocto* in the United States. *Ecological Applications*, 21: 290-302.
- BNA (The Birds of North America Online). 2013. En: A. Poole (eds.), Cornell Laboratory of Ornithology. Base de datos "The Birds of North America Online" disponible en: <http://bna.birds.cornell.edu/BNA/>

- Bock, C. E., Z. F. Jones y J. H. Bock. 2008. The oasis effect: response of birds to exurban development in a southwestern savanna. *Ecological Applications*, 18:1093-1106.
- Bolger, D. 2001. Urban birds: Population, community, and landscape approaches. Pp. 155-177. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Bonter, D. N., B. Zuckerberg y J. L. Dickinson. 2010. Invasive birds in a novel landscape: habitat associations and effects on established species. *Echography*, 33:494-502.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers y L. Thomas. 2001. *Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, Oxford.
- Cabe, P. R. 1993. European Starling (*Sturnus vulgaris*), *The Birds of North America Online*. En: A. Poole (eds.), *Cornell Lab of Ornithology*; disponible en *Birds of North America Online*: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/048>
- Chance, J. F. y J. J. Walsh. 2004. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning*, 74:46-69.
- Clergeau, P., G. Mennechez, A. Sauvage, and A. Lemoine. 2001. Human perception and appreciation of birds: a motivation for wildlife conservation in urban environments of France. Pp. 69-88. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- 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.
- Conroy, M. J. y J. P. Carroll. 2009. *Quantitative conservation of vertebrates*. Wiley-Blackwell. Chichester, UK.
- Cressie, N. 1992. *Statistics for spatial data*. Wiley. New York, NY.
- Croci, S., A. Butet y P. Clergeau. 2008. Does urbanization filter birds on the basis of their biological traits? *The Condor*, 110:223-240.
- Crooks, J. A. y M. E. Soule. 1999. Lag times in population explosions of invasive species: causes and implications. Pp. 103-125. En: O. T. Sandland, P. J. Schei y A. Viken (eds): *Invasive Species and Biodiversity Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, London.

- 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.
- DeStefano, S. and C. M. Webster. 2012. Distribution and habitat of Greater Roadrunners in urban and suburban Arizona. Pp. 155-165. *In*: C. A. Lepczyk and P. S. Warren (eds.), *Urban Bird Ecology and Conservation*. University of California Press, California.
- Dolédec, S., D. Chessel, C. J. F. Ter Braak y S. Champely. 1996. Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics*, 3:143-166.
- Dray, S. 2013. A tutorial to perform fourth-corner and RLQ analyses in R. *Ecological Archives* E095-002-S1.
- Dray, S., P. Choler, S. Dolédec, P. R. Peres-Neto, W. Thuiller, S. Pavoine y C. J. F. ter Braak. 2014. Combining the fourth-corner and the RLQ methods for assessing trait responses to environmental variation. *Ecology*, 95:14-21.
- Dray, S. y P. Legendre. 2008 Testing the species traits-environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology*, 89:3400-3412.
- eBird. 2014. eBird: An online database of bird distribution and abundance. Acezado en mayo 2014 en el URL: <http://www.ebird.org>
- Emlen, J. T. 1974. An urban bird community in Tucson, Arizona: derivation, structure, regulation. *Condor*, 76:184-197.
- ESRI. 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute
- Evans, K. L., D. E. Chamberlain, B. J. Hatchwell, R. D. Gregory y K. J. Gaston. 2011. What makes an urban bird? *Global Change Biology*, 17: 32-44.
- Fujisaki, I., E. V. Pearlstine y F. J. Mazzotti. 2010. The rapid spread of invasive Eurasian Collared Dove *Streptopelia decaocta* in the continental USA follows human-altered habitats. *Ibis*, 152:622-632.
- Fuller, R. A., J. Tratalos y K. J. Gaston. 2009. How many birds are there in a city of a half a million people? *Diversity and Distributions*, 15:328-337.
- Gleason, H. A. 1926. The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 7-26.

- González-Oreja, J. A., C. Bonache-Regidor, D. Buzo-Franco, A. A. F. Díaz-Ordaz y L. Hernández-Satín. 2007. Caracterización ecológica de la avifauna de los parques urbanos de la ciudad de Puebla (México). *Ardeola*, 54:53-67.
- Google. 2013. Google Earth Versión 6.2 Software. Acezado en enero del 2013 en el URL: <http://www.google.com/earth/>
- Gotelli, N. J. y A. M. Ellison. 2013a. EcoSimR Niche Overlap Shell.R. (Versión 1.0). Disponible en: <http://www.uvm.edu/~ngotelli/EcoSim/EcoSim.html>
- Gotelli, N. J. y A. M. Ellison. 2013b. EcoSimR Niche Overlap Tutorial. Acezado en octubre del 2013 en el URL: <http://www.uvm.edu/~ngotelli/EcoSim/Niche%20Overlap%20Tutorial.html>
- Gottlander, M. y R. Hutchinson. 2006. *The new urban sociology*. 3er ed. Westview Press, Boulder, Co.
- Green, D. M. y M. G. Baker. 2003. Urbanization impacts on habitat and bird communities in a Sonoran desert ecosystem. *Landscape and urban planning*, 63:225-239.
- Gregory, R. D., D. W. Gibbons y P. F. Donald. 2004. Bird census and survey techniques. Pp. 17-56. In: W. J. Sutherland, I. Newton and R. E. Green (eds.). *Bird Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*. Oxford University Press, Oxford.
- Hostetler, M. 2001. The importance of multi-scale analyses in avian habitat selection studies in urban environments. Pp. 139-154. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Ikin, K., E. Knight, D. B. Lindenmayer, J. Fischer y A. D. Manning. 2012. Linking bird species traits to vegetation characteristics in a future urban development zone: implications for urban planning. *Urban Ecosystems*, 15:961-977.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. *Perspectiva Estadística Sonora*. Acezado en enero del 2014 en el URL: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/estd\\_perspect/son/Pers-son.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/estd_perspect/son/Pers-son.pdf)
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013. *Inventario Nacional de Viviendas (actualizado 2012)*. Acezado en enero del 2013 en el URL: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/inv/Default.aspx>
- IUCN (International Union for Conservation of Nature Online). 2013. *IUCN Red List of Threatened Species version 2013.1*. Acezado en octubre 2013 en el URL: <http://www.iucnredlist.org>

- Jayaraman, K. 2000. A statistical manual for forestry research. FORSPA.
- Jerzak, L. 2001. Synurbanization of the magpie in the Palearctic. Pp. 403-425. *In*: J. M. Marzluff, R. Bowman and R. Donnelly (eds.), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Johnston, R. F. 2001. Synanthropic birds of North America. Pp. 49-67. *In*: J. M. Marzluff, R. Bowman and R. Donnelly (eds.), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Kark, S., A. Iwaniuk, A. Schalimtzek y F. Banker. 2007. Living in the city: can anyone become an 'urban exploiter'? *Journal of Biogeography* 34:638-651.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological methodology*. Vol. 620. Menlo Park, California: Benjamin & Cummings.
- Lowther, P. E. y C. L. Cink. 2006. House Sparrow (*Passer domesticus*), *The Birds of North America Online*. En: A. Poole (eds.), *Cornell Lab of Ornithology*; disponible en *Birds of North America Online*: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/012>
- Lowther, P. E. y R. F. Johnston. 2014. Rock Pigeon (*Columba livia*), *The Birds of North America Online*. En: A. Poole (eds.), *Cornell Lab of Ornithology*; disponible en *Birds of North America Online*: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/013>
- MacGregor-Fors, I., L. Morales-Pérez y J. E. Schondube. 2012. From forests to cities: effects of urbanization on tropical birds. Pp. 33-48. *In*: C. A. Lepczyk and P. S. Warren (eds.), *Urban Bird Ecology and Conservation*. University of California Press, California.
- Marzluff, J. M. 2001. Worldwide urbanization and its effects on birds. *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Pp. 19-48. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Marzluff, J. M., K. J. McGowan, R. Donnelly and R. L Knight. 2001b. Causes and consequences of expanding American Crow populations. Pp. 331-363. *In*: J. M. Marzluff, R. Bowman and R. Donnelly (eds.). *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Marzluff, J. M., R. Bowman y R. Donnelly. 2001a. A historical perspective on urban bird research: trends, terms, and approaches. Pp. 1-17. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.). *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.



- Marzluff, J. y A. Rodewald, A. 2008. Conserving biodiversity in urbanizing areas: nontraditional views from a bird's perspective. *Cities and the Environment*, 1:6.
- McCaffrey, R. E. y R. W. Mannan. 2012. How scale influences birds' responses to habitat features in urban residential areas. *Landscape and Urban Planning*, 105:274-280.
- McDonnell, M. J. y S. T. A. Pickett. 1990. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71:1232-1237.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127:247-260.
- McKinney, M. L. 2008. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11:161-176.
- Melles, S., S. Glenn y K. Martin. 2003. Urban Bird Diversity and Landscape Complexity: species--environment associations along a multi-scale habitat gradient. *Conservation Ecology*, 7:5.
- Mennechez, G. y P. Clergeau. 2001. Settlement of breeding European Starlings in urban areas: importance of lawn vs. anthropogenic wastes. Pp. 275-287. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Miller, J. R., J. M. Fraterrigo, N. T. Hobbs, D. M. Theobald y J. A. Wiens. 2001. Urbanization, avian communities, and landscape ecology. Pp. 117-137. En: J. M. Marzluff, R. Bowman y R. Donnelly (eds.), *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Mills, G. S., Jr. J. B. Dunning y J. M. Bates. 1989. Effects of urbanization on breeding bird community structure in southwestern desert habitats. *Condor*, 91:416-428.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. GORFI S.A. Zaragoza, España.
- Olden, J. D., N. L. Poff y M. L. McKinney. 2006. Forecasting faunal and floral homogenization associated with human population geography in North America. *Biological Conservation*, 127: 261-271.
- Olden, J. D., y T. P. Rooney. 2006. On defining and quantifying biotic homogenization. *Global Ecology and Biogeography*, 15:113-120.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2011. *World Urbanization Prospects: the 2011 revision*. United Nations, New York, NY.

- Pennington, D. N. y R. B. Blair. 2012. Using gradient analysis to uncover pattern and process in urban bird communities. Pp. 9-31. En: C. A. Lepczyk y P. S. Warren (eds.), *Urban Bird Ecology and Conservation*. University of California Press, California.
- Perepelizin, P. V. y A. M. Faggi. 2009. Diversidad de aves en tres barrios de la ciudad de Buenos Aires, Argentina. *Multequina*, 18:71-85.
- R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org>
- Ralph, C. J., J. R. Sauer y S. Droege. (eds.) 1998. *Monitoring bird populations by point counts*. DIANE Publishing.
- Romagosa, C. M. 2012. Eurasian Collared-Dove (*Streptopelia decaocto*), The Birds of North America Online. En: A. Poole (eds.), *Cornell Lab of Ornithology*; disponible en *Birds of North America Online*: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/630>
- Rosenberg, K. V., S. B. Terrill y G. H. Rosenberg. 1987. Value of suburban habitats to desert riparian birds. *Wilson Bulletin*, 99:642-654.
- Savard, J.P. L., P. Clergeau y G. Mennechez. 2000. Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning*, 48:131-142.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. *Diario Oficial de la Federación*.
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2011. *Estrategia Nacional del Manejo Sustentable de Tierras*. México, DF.
- Shochat, E. 2004. Credit or debit? Resource input changes population dynamics of city slicker birds. *OIKOS*, 106:622-626.
- Strong, D. R. 1980. Null hypotheses in ecology. *Synthese*, 43: 271-285.
- Thioulouse, J., D. Chessel, S. Dole y J. M. Olivier. 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and computing*, 7:75-83.
- Thomas, L., S. T. Buckland, E. A. Rexstad, J. L. Laake, S. Strindberg, S. L. Hedley, J. R.B. Bishop, T. A. Marques y K. P. Burnham. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47:5-14.
- Vesk, P. A. 2013. How traits determine species responses to environmental gradients. *Journal of Vegetation Science*, 24:977-978.

- Villegas, M. y Garitano-Zavala, A. 2008. Las comunidades de aves como indicadores ecológicos para programas de monitoreo ambiental en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 43:146-153.
- Walker, J. S. y E. Shochat. 2010. Scalar effects of vegetation on bird communities in an urbanizing desert ecosystem. *Urban Ecosystems* 13:155-167.
- Warren, P. S. y C. A. Lepczyk. 2012. Beyond the gradient: insights from new work in the avian ecology of urbanizing lands. Pp. 1-6. En: C. A. Lepczyk y P. S. Warren (eds.), *Urban Bird Ecology and Conservation*. University of California Press, California.
- Weiher, E. K. 2004. *Ecological Assembly Rules: perspectives, advances, retreats*. United Kingdom, Cambridge University Press.

## IX. APÉNDICES

Apéndice 1. Puntos visitados por muestreo y sus coordenadas.

Impacto Urbano	Cuadrante	Punto	UTM	
			X (mE)	Y (mN)
0-29%	60	A	509177	3208904
		B	509853	3208510
		C	509083	3208567
		D	509403	3208113
	80	A	509789	3209974
		B	509932	3209610
		C	509185	3209491
		D	509633	3209240
	93	A	502624	3210901
		B	502148	3210801
		C	502455	3210539
		D	502794	3210073
	120	A	509236	3211752
		B	509752	3211613
		C	509149	3211198
		D	509677	3211083
	130	A	499318	3212859
		B	499773	3212631
		C	499137	3212584
		D	499420	3212306
149	A	498220	3213582	
	B	498700	3213662	
	C	498155	3213235	
	D	498728	3213262	
189	A	498029	3215960	
	B	498824	3215658	
	C	498622	3215304	
	D	498368	3215011	
209	A	498928	3216914	
	B	498268	3216880	

Apéndice 1. Puntos visitados por muestreo y sus coordenadas.

Impacto Urbano	Cuadrante	Punto	UTM	
			X (mE)	Y (mN)
0-29%	209	C	498149	3216446
		D	498464	3216059
	259	A	508574	3218902
		B	508250	3218629
		C	508783	3218462
		D	508515	3218356
	285	A	494779	3220618
		B	494188	3220698
		C	494170	3220247
		D	494472	3220072
	297	A	506192	3220766
		B	506298	3220508
		C	506388	3220310
		D	505991	3220237
	305	A	494920	3221683
		B	494576	3221819
		C	494266	3221915
		D	494272	3221161
	327	A	496053	3222872
		B	496990	3222788
C		496419	3222579	
D		496853	3222248	
388	A	497792	3225899	
	B	497023	3225892	
	C	497955	3225489	
	D	497624	3225305	
411	A	500824	3226937	
	B	500345	3226868	
	C	500159	3226314	
	D	500495	3226079	
30-59%	40	A	509149	3207909
		B	509682	3207842
		C	509802	3207323
		D	509314	3207068
	78	A	507783	3210020
		B	507170	3209164

Apéndice 1. Puntos visitados por muestreo y sus coordenadas.

Impacto Urbano	Cuadrante	Punto	UTM	
			X (mE)	Y (mN)
30-59%	78	C	507220	3209476
		D	507663	3209269
	97	A	506476	3210560
		B	506138	3210821
		C	506664	3210911
		D	506798	3210119
	111	A	500235	3211770
		B	500767	3211621
		C	500164	3211237
		D	500689	3211117
	192	A	501218	3215735
		B	501773	3215619
		C	501226	3215386
		D	501325	3215240
	196	A	505047	3215687
		B	505787	3215908
		C	505892	3215536
		D	505234	3215329
	210	A	499331	3216860
		B	499944	3216710
		C	499082	3216656
		D	498937	3216348
	245	A <sup>1</sup>	494548	3218883
		B <sup>1</sup>	494424	3218427
		C <sup>1</sup>	494186	3218726
		D <sup>1</sup>	494042	3218185
	248	A	497337	3218864
		B	497940	3218788
		C	497166	3218402
		D	497465	3218089
279	A	508022	3219963	
	B	508934	3219593	
	C	508591	3219277	
	D	508340	3219008	
348	A	497986	3223846	
	B	497052	3223275	

Apéndice 1. Puntos visitados por muestreo y sus coordenadas.

Impacto Urbano	Cuadrante	Punto	UTM	
			X (mE)	Y (mN)
30-59%	348	C	497388	3223312
		D	497954	3223355
	355	A	504149	3223760
		B	504724	3223683
		C <sup>1</sup>	504237	3223321
		D	504875	3223187
	368	A	497070	3224859
		B	497993	3224739
		C	497441	3224593
		D	497289	3224033
	375	A	504428	3224978
		B	504572	3224805
		C	504944	3224679
		D	504273	3224149
	410	A	499194	3226787
		B	499838	3226930
C		499154	3226302	
D		499668	3226121	
60-89%	57	A	506140	3208945
		B	506845	3208563
		C	506019	3208478
		D	506314	3208094
	77	A	506759	3209665
		B	506918	3209637
		C	506269	3209515
		D	506654	3209288
	116	A	505246	3211804
		B	505780	3211642
		C	505161	3211253
		D	505696	3211120
	117	A	506172	3211821
		B	506671	3211922
		C	506485	3211565
		D	506823	3211125
171	A	500114	3214741	
	B	500784	3214938	

Apéndice 1. Puntos visitados por muestreo y sus coordenadas.

Impacto Urbano	Cuadrante	Punto	UTM	
			X (mE)	Y (mN)
60-89%	171	C	500935	3214567
		D	500594	3214376
	193	A	502323	3215893
		B	502887	3215659
		C	502143	3215568
		D	502305	3215318
	194	A	503219	3215702
		B	503797	3215635
		C	503205	3215360
		D	503324	3215205
	208	A	497361	3216890
		B	497958	3216941
		C	497177	3216415
		D	497486	3216094
	257	A	506224	3218645
		B	506696	3218666
		C	506160	3218293
		D	506717	3218276
	287	A	496032	3220960
		B	496483	3220702
		C	496585	3220327
		D	496348	3220088
	307	A	496161	3221758
		B	496475	3221457
		C	496200	3221222
		D	496901	3221189
	329	A	498934	3222828
		B	498962	3222354
		C	498017	3222286
		D	498353	3222319
	370	A	499297	3224890
		B	499888	3225050
C		499134	3224306	
D		499734	3224112	
371	A	500069	3224864	
	B	500985	3224787	



Apéndice 1. Puntos visitados por muestreo y sus coordenadas.

Impacto Urbano	Cuadrante	Punto	UTM	
			X ( <sup>m</sup> E)	Y ( <sup>m</sup> N)
60-89%	371	C	500399	3224584
		D	500285	3224055
	374	A <sup>2</sup>	503292	3224908
		B	503625	3224791
		C	503925	3224680
90-100%	112	D	503295	3224185
		A	501148	3211845
		B	501641	3211930
		C	501445	3211581
		D	501781	3211162
	113	A	502552	3211943
		B	502954	3211641
		C	502205	3211535
		D	502626	3211332
	154	A	503070	3213900
		B	503774	3213969
		C	503948	3213584
		D	503601	3213411
	155	A	504201	3213819
		B	504568	3213625
		C	504163	3213271
		D	504500	3213131
	175	A	504122	3214723
		B	504803	3214530
		C	504196	3214379
D		504514	3214210	
214	A	503331	3216883	
	B	503880	3216649	
	C	503134	3216581	
	D	503082	3216181	
233	A	502337	3217907	
	B	502941	3217910	
	C	502150	3217435	
	D	502485	3217099	
254	A	503150	3218939	
	B	503036	3218558	

Apéndice 1. Puntos visitados por muestreo y sus coordenadas.

Impacto Urbano	Cuadrante	Punto	UTM	
			X (mE)	Y (mN)
90-100%	254	C	503840	3218606
		D	503282	3218131
	270	A	499219	3219624
		B	499687	3219672
		C	499168	3219280
		D	499688	3219284
	291	A	500054	3220946
		B	500476	3220711
		C	500595	3220307
		D	500329	3220038
	309	A	498140	3221799
		B	498474	3221619
		C	498249	3221341
		D	498878	3221183
	333	A	502283	3222708
		B	502812	3222982
		C	502198	3222319
		D	502721	3222139
	335	A	504940	3222796
		B	504061	3222521
		C	504383	3222299
		D	504952	3222326
	349	A	498483	3223919
		B	498996	3223781
		C	498404	3223585
		D	498283	3223081
	353	A	502290	3223905
		B	502679	3223812
C		502946	3223507	
D		502285	3223168	

<sup>1</sup>Puntos de muestreo que no fueron visitados durante el 3er periodo de muestreo.

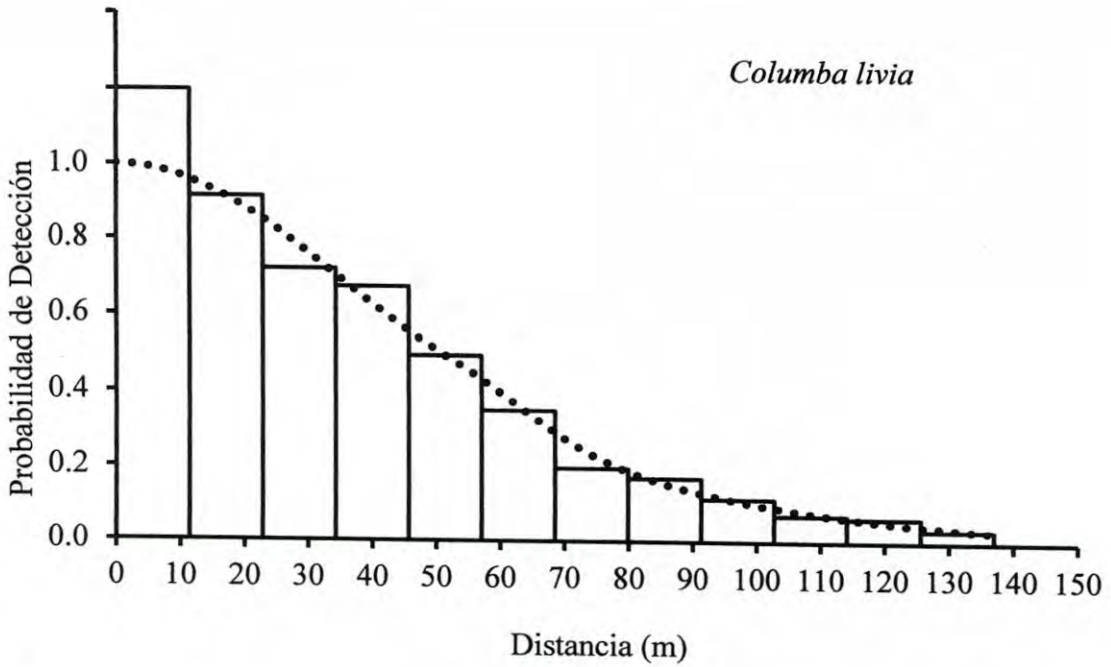
<sup>2</sup>Puntos de muestreo que no fueron visitados durante el 1er periodo de muestreo

Apéndice 2. Características de las funciones de detección y sus estimaciones de  $\hat{h}(0)$  y  $SE(\hat{h}(0))$  utilizados para estimar densidades mediante transectos de punto.

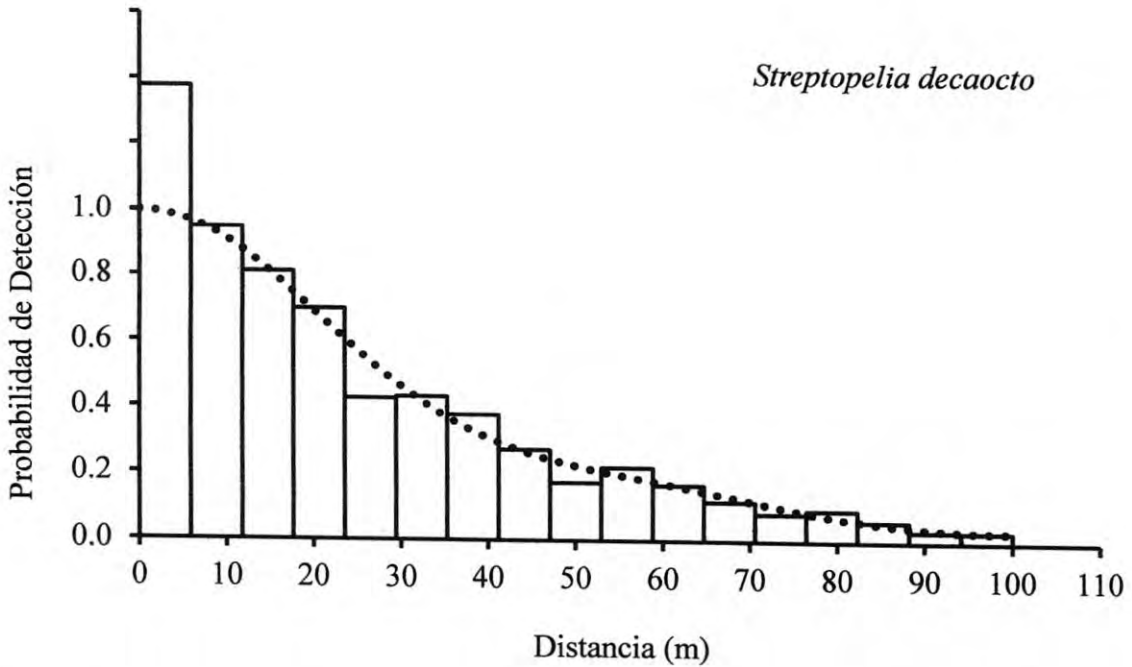
<b>Nombre Científico</b>	<b>Función Clave</b>	<b>Expansión</b>	<b>Termino</b>	<b><math>\hat{h}(0)</math></b>	<b><math>SE(\hat{h}(0))</math></b>
<i>Columba livia</i>	Hazard-rate	Cosine	2	0.000492	0.000055
<i>Streptopelia decaocto</i>	Uniform	Cosine	4	0.001109	0.000097
<i>Zenaida asiatica</i>	Uniform	Cosine	3	0.001069	0.000077
<i>Zenaida macroura</i>	Uniform	Cosine	2	0.000697	0.000039
<i>Columbina inca</i>	Uniform	Cosine	4	0.002772	0.000221
<i>Cynanthus latirostris</i>	Hazard-rate	-	-	0.005779	0.000873
<i>Melanerpes uropygialis</i>	Hazard-rate	-	-	0.001040	0.000117
<i>Tyrannus verticalis</i>	Uniform	Cosine	2	0.000547	0.000058
<i>Auriparus flaviceps</i>	Uniform	Cosine	3	0.002808	0.000253
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	Uniform	Cosine	2	0.001079	0.000098
<i>Polioptila melanura</i>	Uniform	Cosine	2	0.003512	0.000522
<i>Chondestes grammacus</i>	Uniform	Cosine	1	0.001389	0.000118
<i>Cardinalis sinuatus</i>	Hazard-rate	-	-	0.000551	0.000142
<i>Quiscalus mexicanus</i>	Uniform	Cosine	2	0.000612	0.000048
<i>Haemorhous mexicanus</i>	Half-normal	Cosine	2	0.002483	0.000274
<i>Passer domesticus</i>	Uniform	Cosine	3	0.002568	0.000112

Las unidades de  $\hat{h}(0)$  y  $SE(\hat{h}(0))$  están en  $\text{km}^2$ .

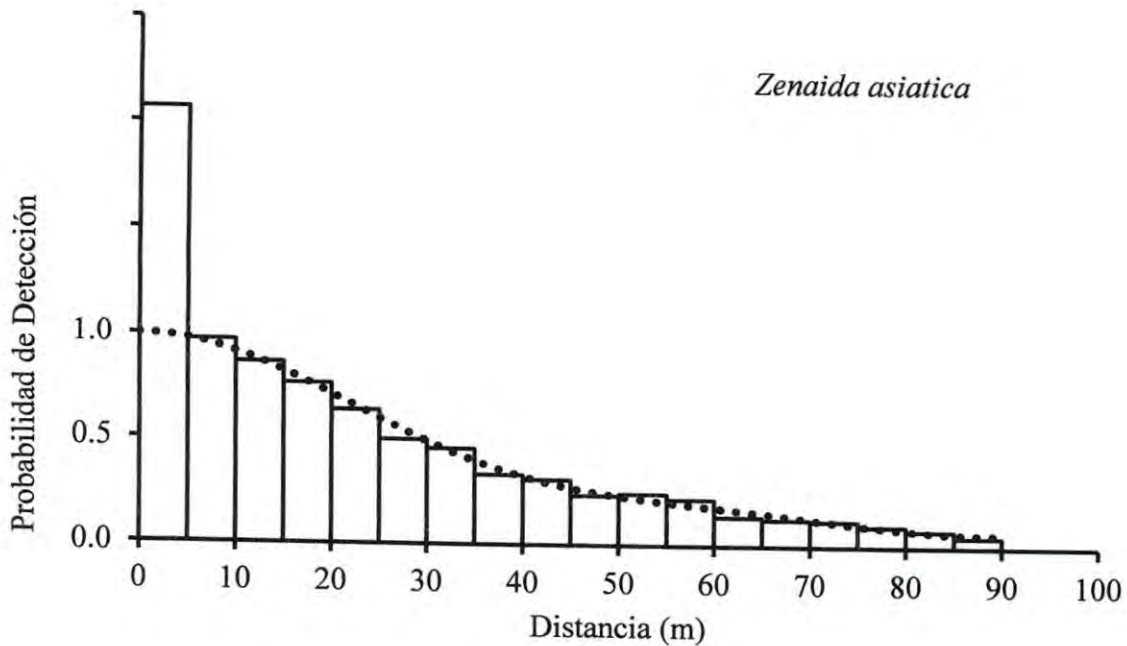
160203



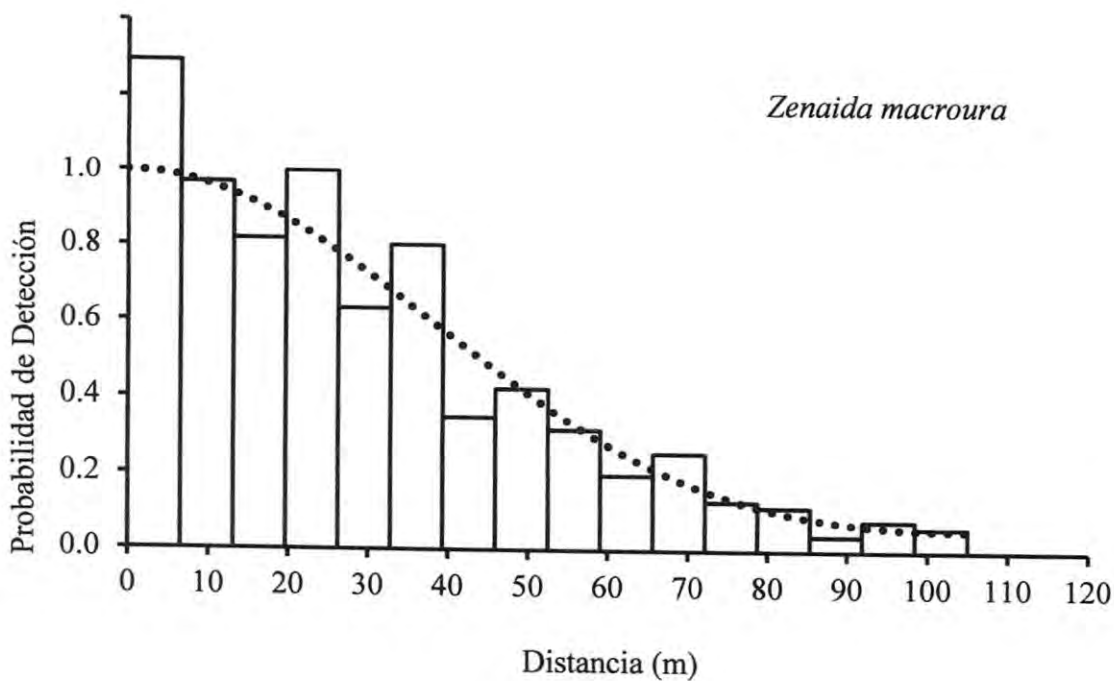
Apéndice 3. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *C. livia*.



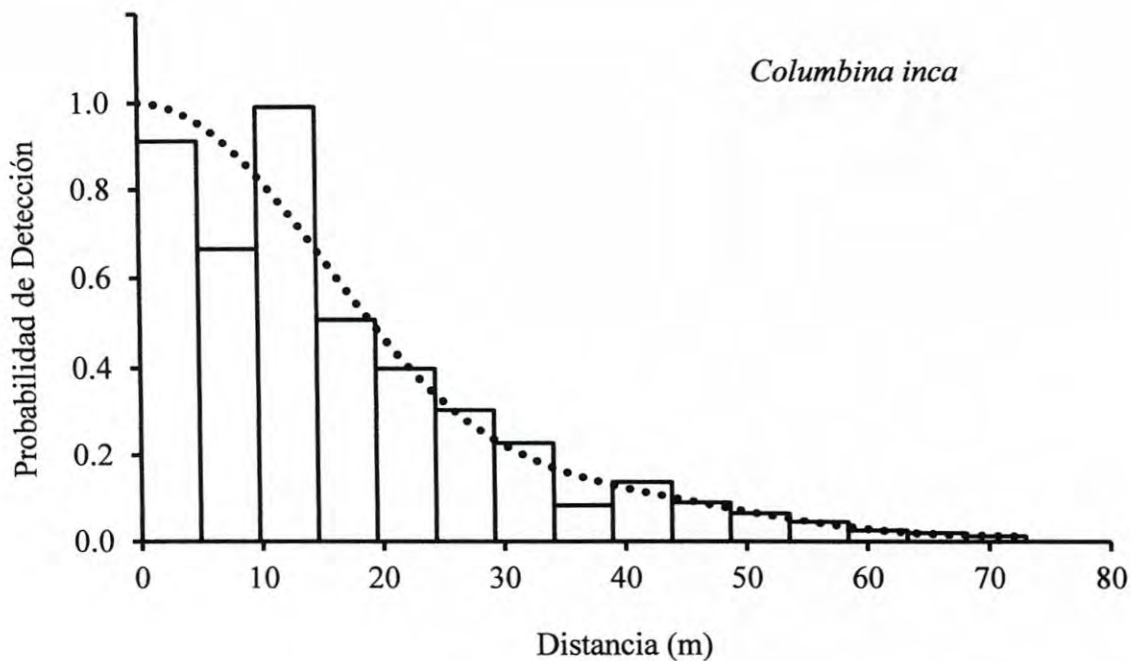
Apéndice 4. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *S. decaocto*.



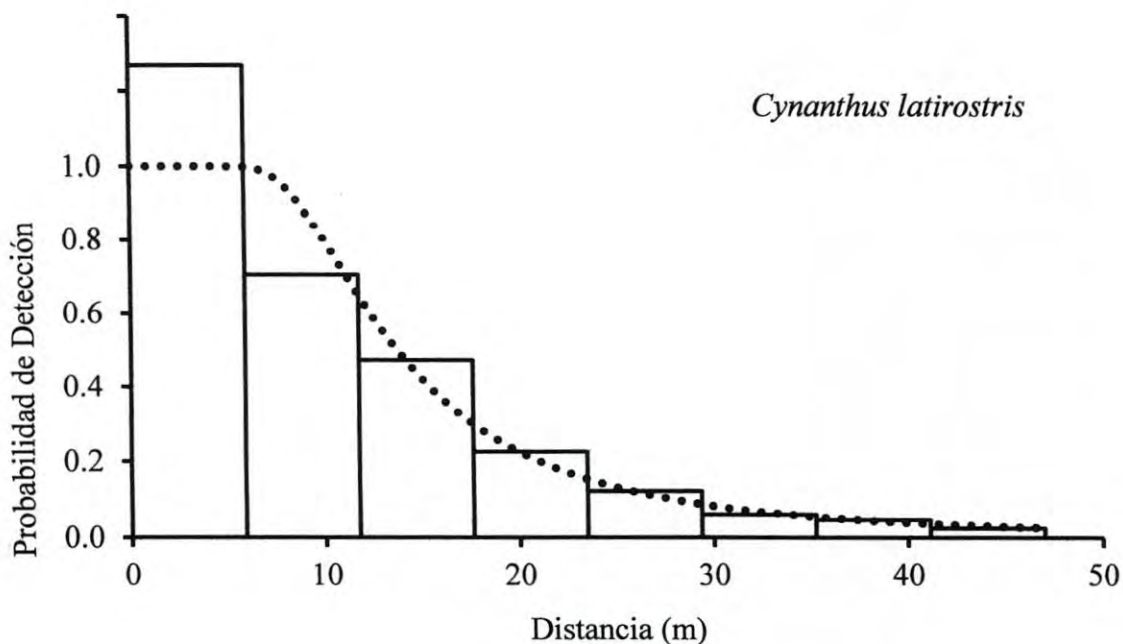
Apéndice 5. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *Z. asiatica*.



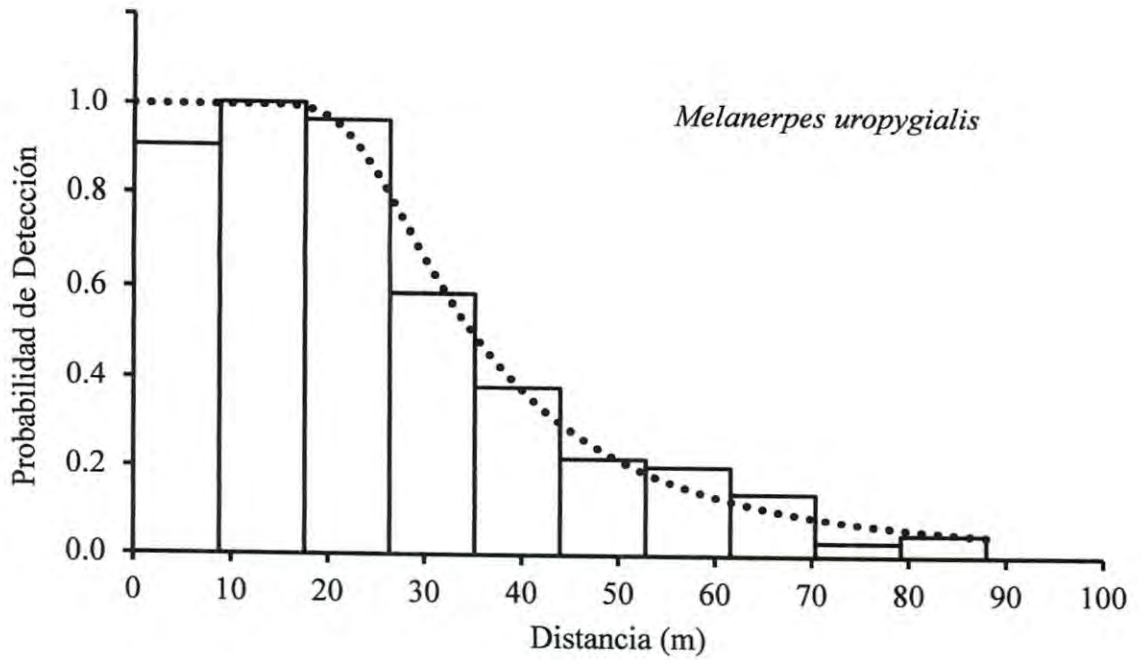
Apéndice 6. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *Z. macroura*.



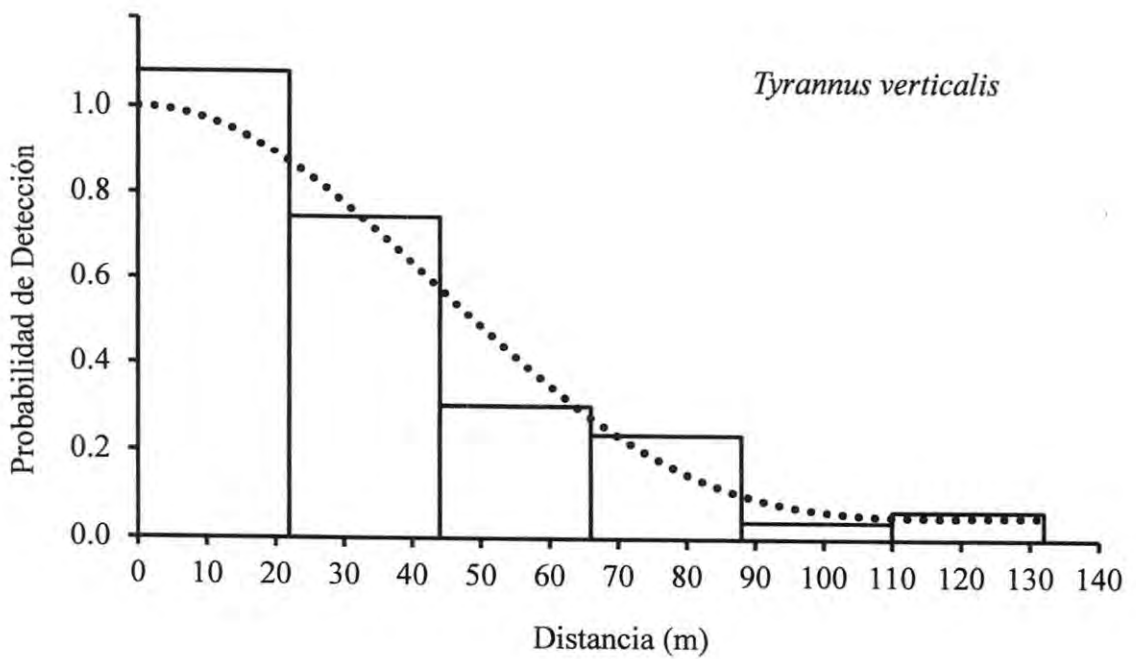
Apéndice 7. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada *C.inca*.



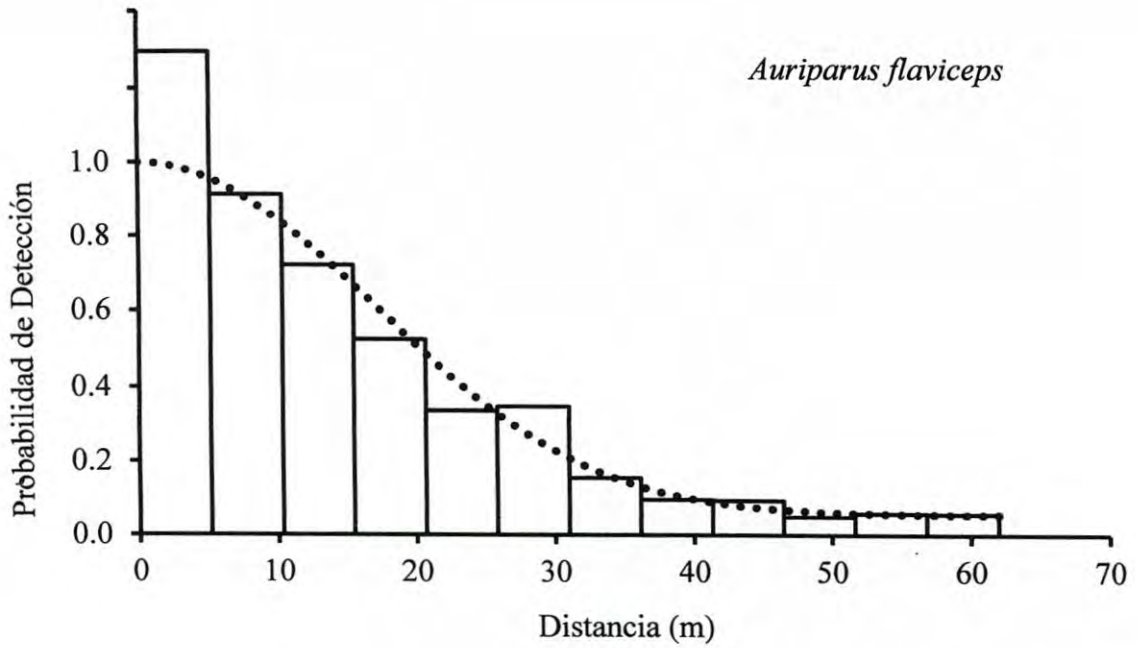
Apéndice 8. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *C. latirostris*.



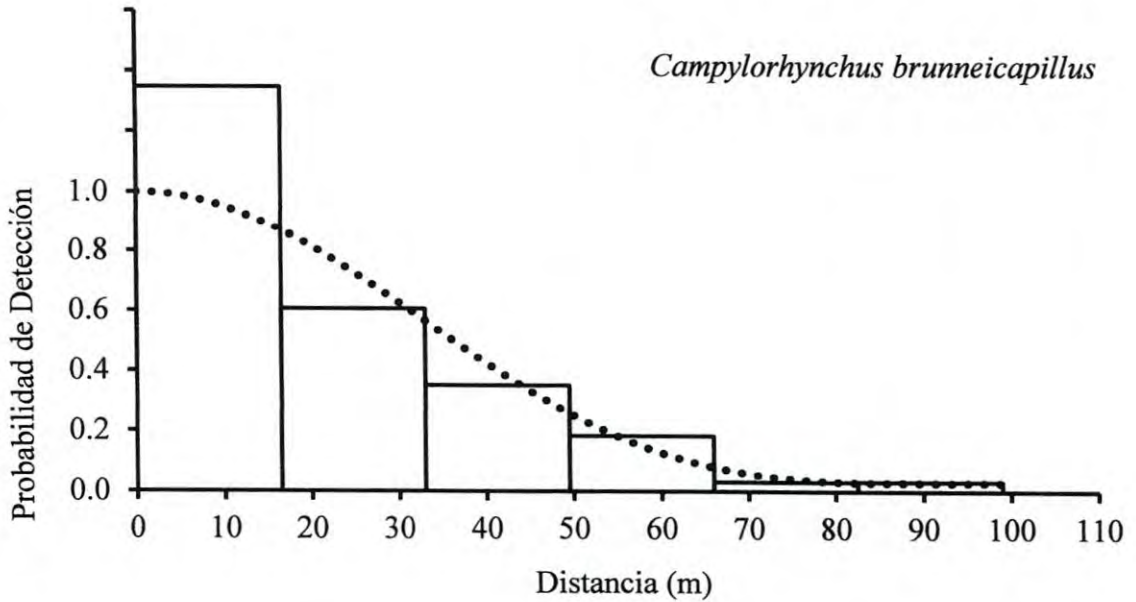
Apéndice 9. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *M. uropygialis*.



Apéndice 10. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *T. verticalis*.

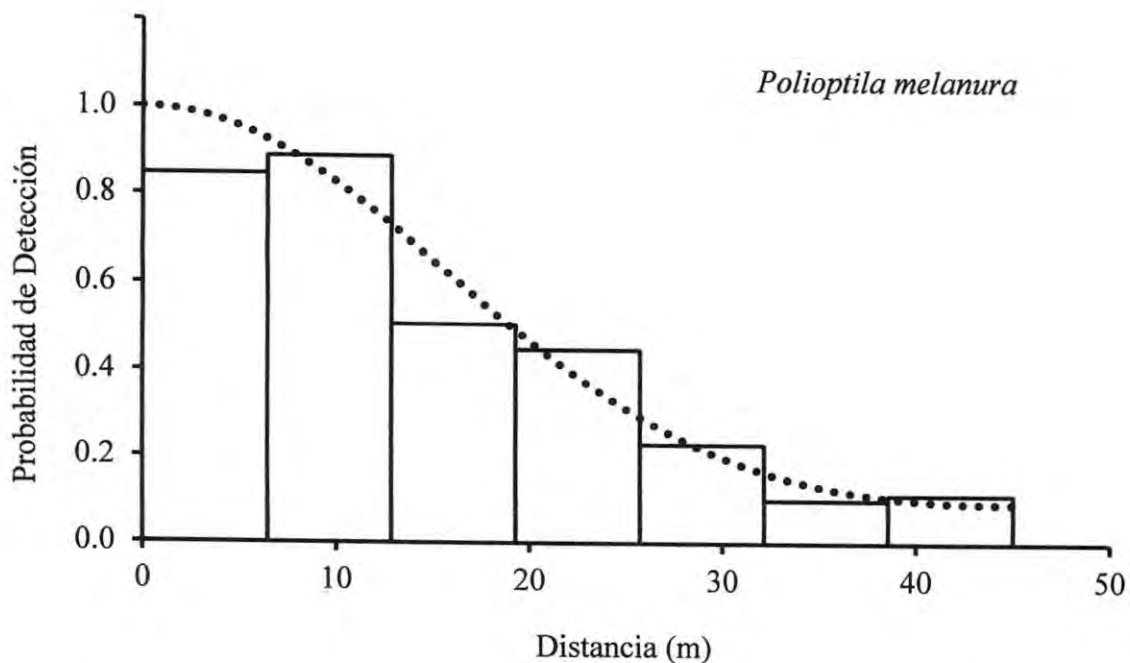


Apéndice 11. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *A. flaviceps*.

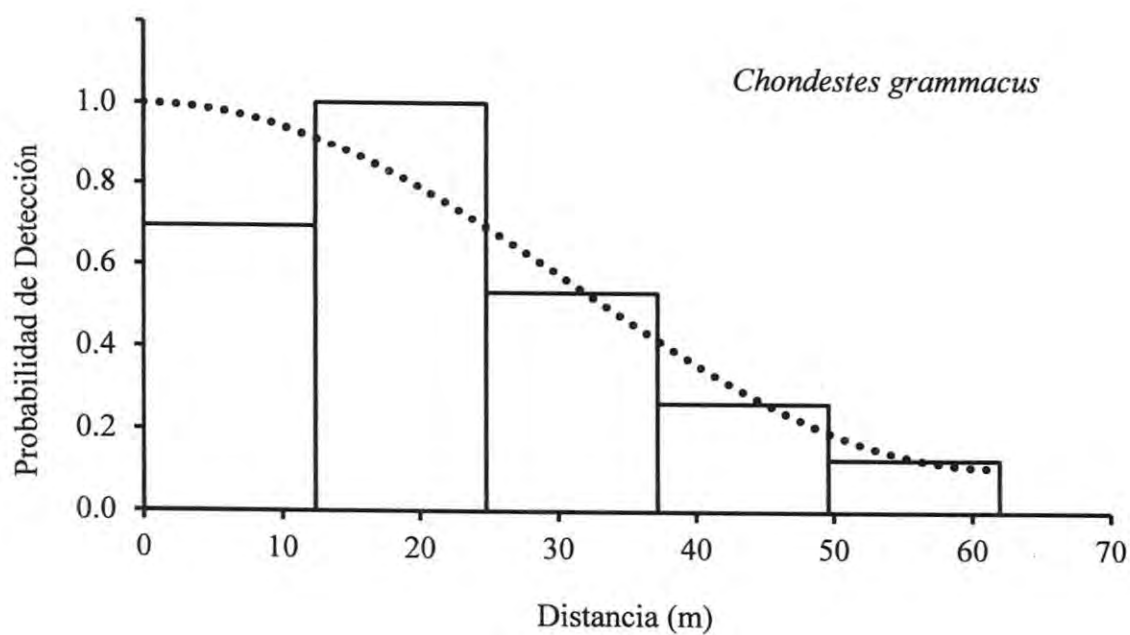


Apéndice 12. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *C. brunneicapillus*.

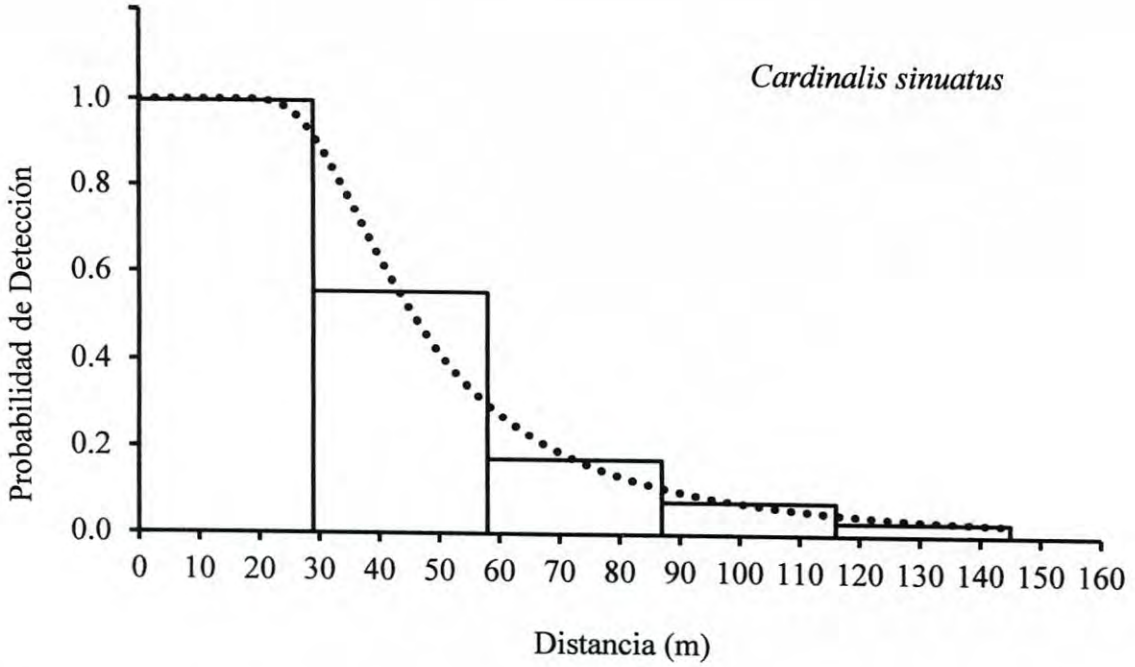




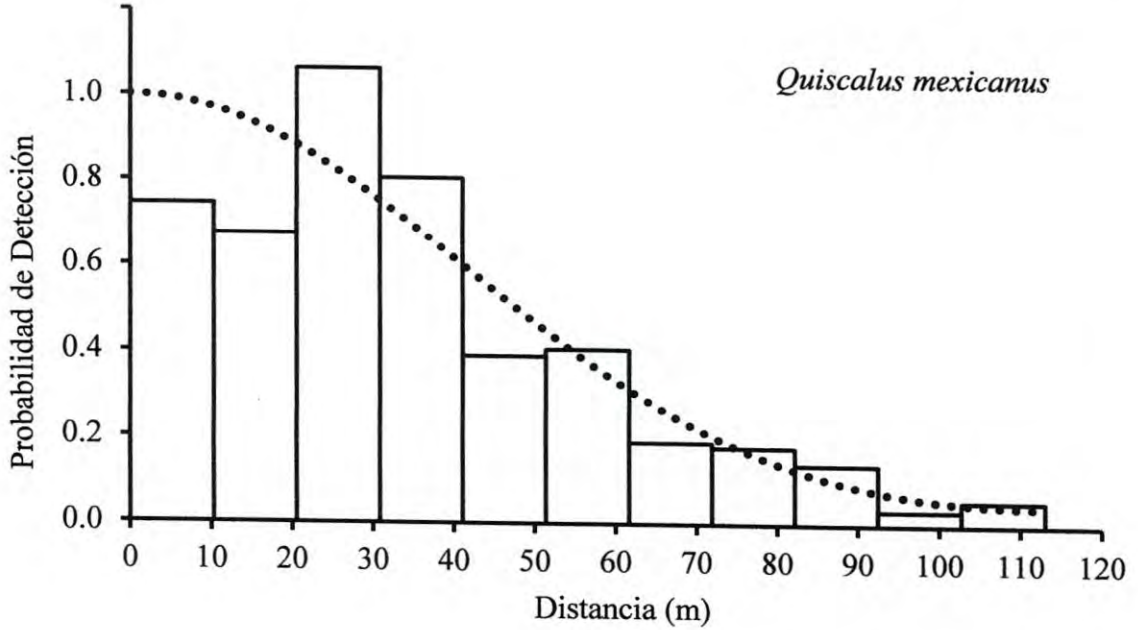
Apéndice 13. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *P. melanura*.



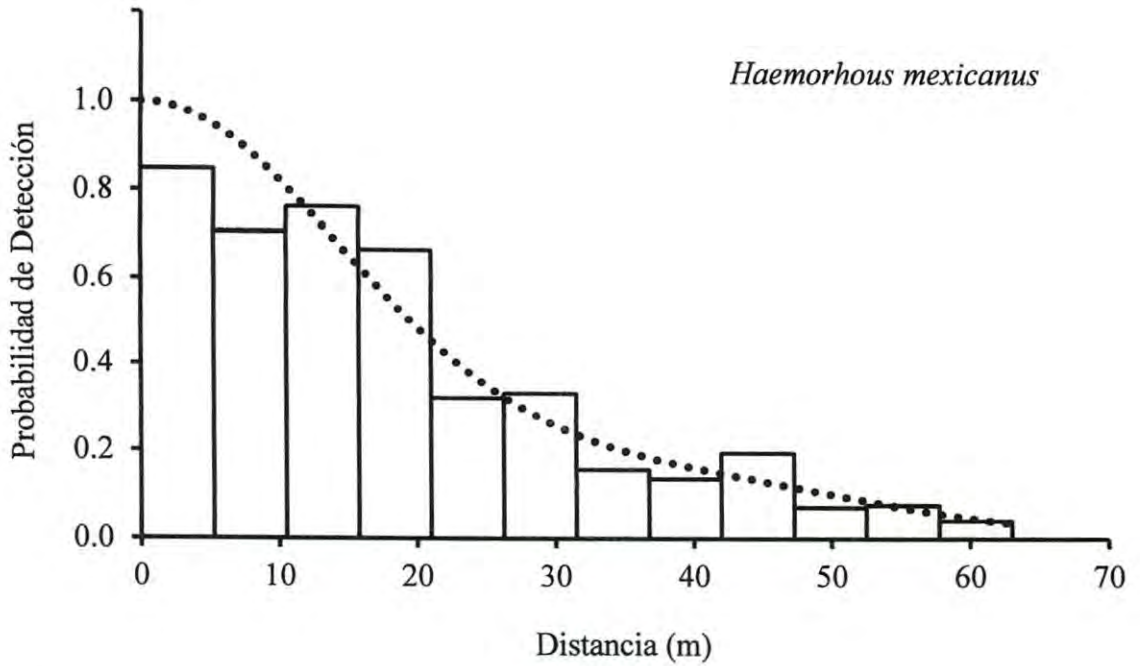
Apéndice 14. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *C. grammacus*.



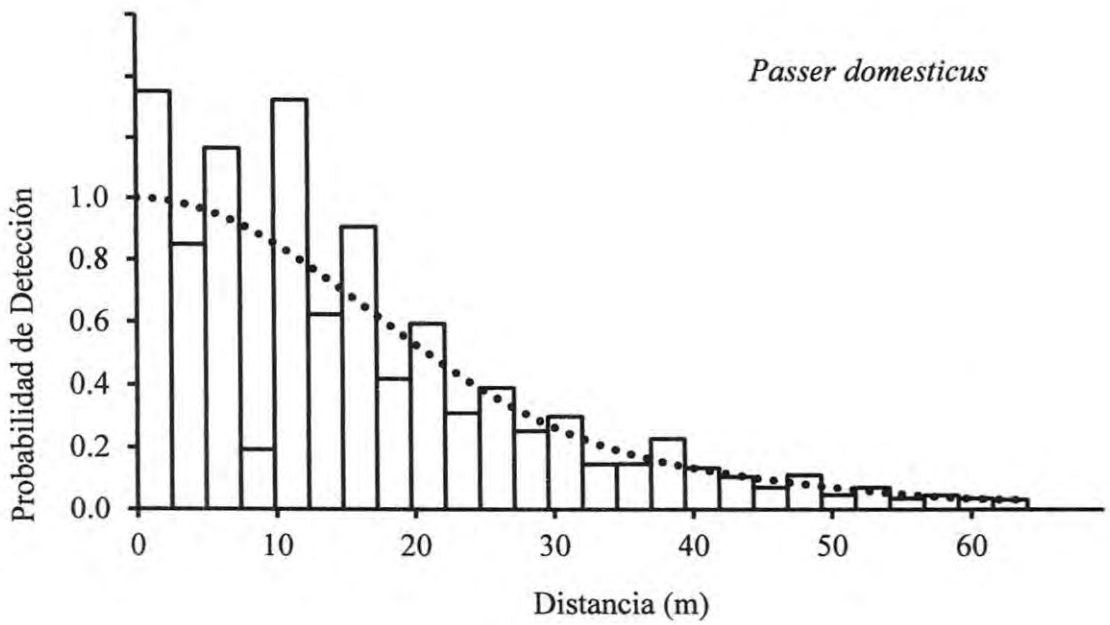
Apéndice 15. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *C. sinuatus*.



Apéndice 16. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *Q. mexicanus*.

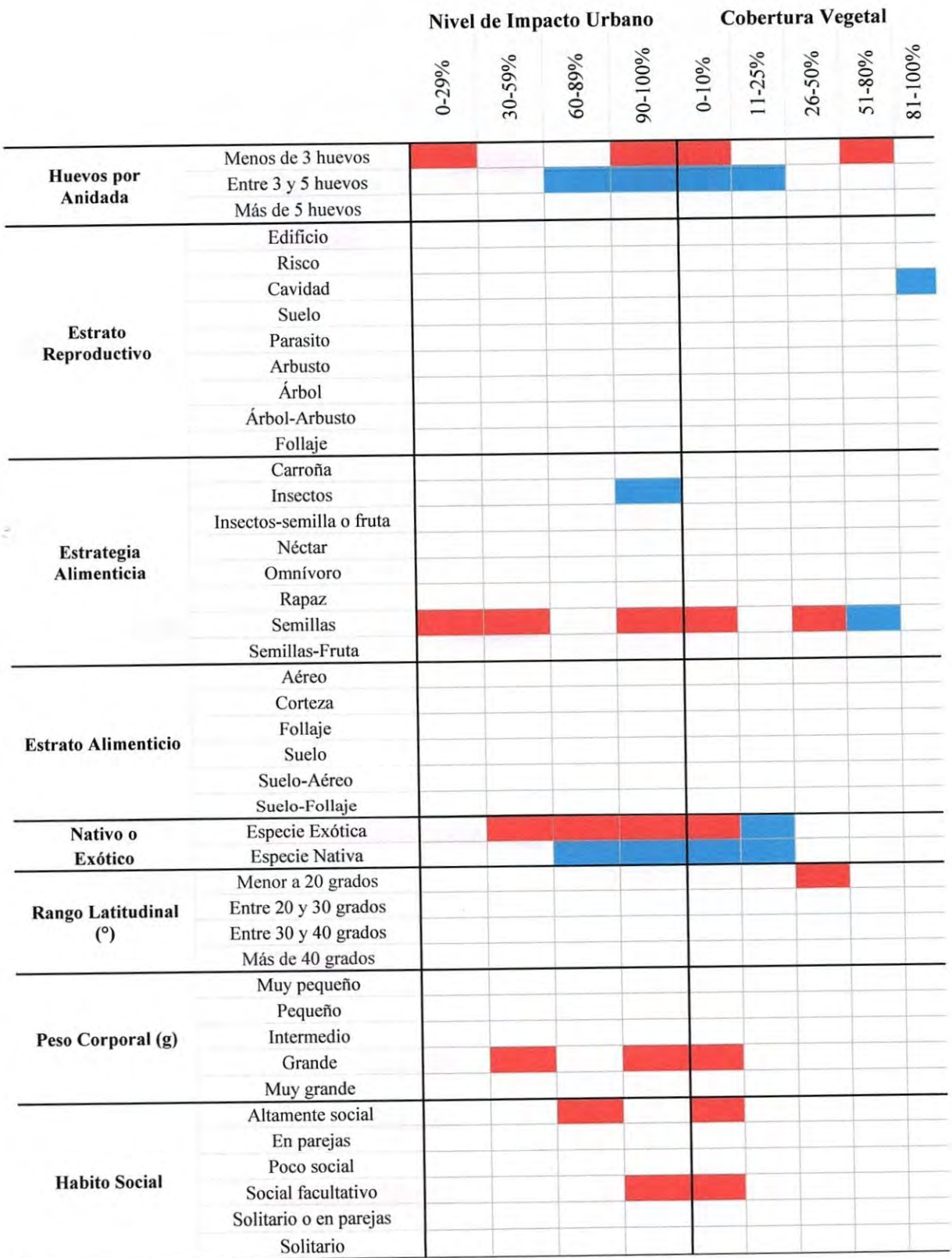


Apéndice 17. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *H. mexicanus*.

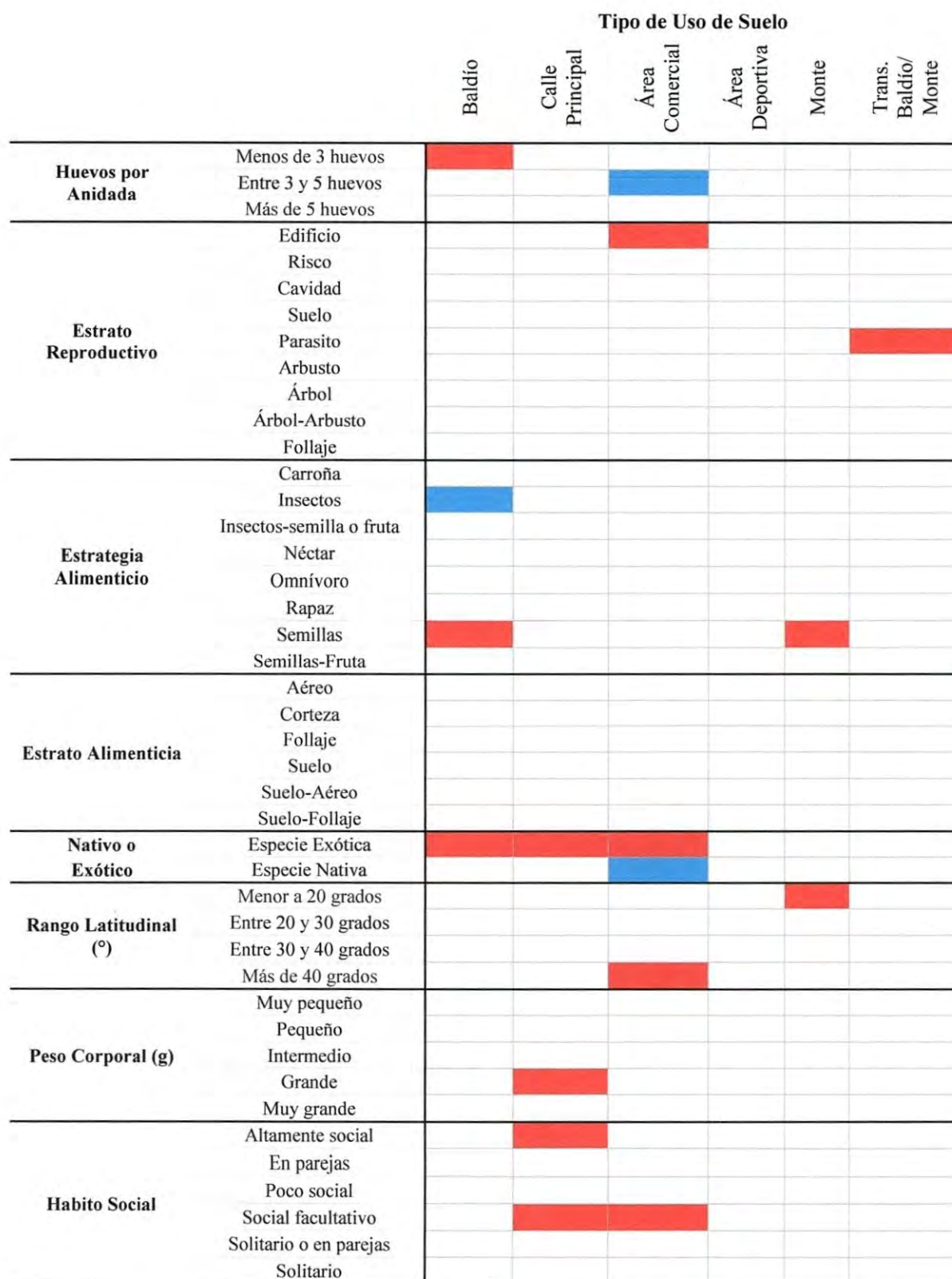


Apéndice 18. Distribución observada de las distancias de detección y curva de la función de detección ajustada para *P. domesticus*.

Apéndice 19. Gráfica de relaciones entre las características intrínsecas de las especies y las variables ambientales obtenidas mediante el análisis *Fourth Corner*.



Apéndice 19. Gráfica de relaciones entre las características intrínsecas de las especies y las variables ambientales obtenidas mediante el análisis *Fourth Corner*.



Apéndice 19. Gráfica de relaciones entre las características intrínsecas de las especies y las variables ambientales obtenidas mediante el análisis *Fourth Corner*.

		Uso de Suelo				
		Monte con Pendiente	Parque	Res. con pavimento	Trans. Res./Monte	Res. sin Pavimento
<b>Huevos por Anidada</b>	Menos de 3 huevos		■	■		■
	Entre 3 y 5 huevos			■		■
	Más de 5 huevos					
<b>Estrato Reproductivo</b>	Edificio					
	Risco					
	Cavidad					
	Suelo					
	Parasito					
	Arbusto					
	Árbol					
	Árbol-Arbusto					
	Follaje					
<b>Estrategia Alimenticio</b>	Carroña					
	Insectos					
	Insectos-semilla o fruta					
	Néctar	■				
	Omnívoro					
	Rapaz					
	Semillas		■	■		■
Semillas-Fruta						
<b>Estrato Alimenticia</b>	Aéreo					
	Corteza					
	Follaje					
	Suelo					
	Suelo-Aéreo					
Suelo-Follaje						
<b>Nativo o Exótico</b>	Especie Exótica		■	■		■
	Especie Nativa		■	■		
<b>Rango Latitudinal (°)</b>	Menor a 20 grados	■				
	Entre 20 y 30 grados					
	Entre 30 y 40 grados					
	Más de 40 grados					
<b>Peso Corporal (g)</b>	Muy pequeño					
	Pequeño					
	Intermedio					
	Grande					
	Muy grande					
<b>Habito Social</b>	Altamente social					■
	En parejas					
	Poco social					
	Social facultativo			■		
	Solitario o en parejas					
	Solitario					