

Universidad Complutense de Madrid
Máster Universitario en Zoología



**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA,
FISIOLÓGICA Y COMPORTAMENTAL DE AVES
FORESTALES DEL CENTRO DE LA PENÍNSULA
IBÉRICA**

Cristina de Castro Díaz



**- Trabajo Fin de Máster -
Noviembre 2019**

Tutores: José I. Aguirre de Miguel, Irene Hernández Téllez

Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución, Facultad de
Biología



**Universidad Complutense de Madrid
Máster Universitario en Zoología**

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA,
FISIOLÓGICA Y COMPORTAMENTAL DE AVES
FORESTALES DEL CENTRO DE LA PENÍNSULA
IBÉRICA**

- Trabajo Fin de Máster -

Cristina de Castro Díaz

**Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución, Facultad de
Biología**

Noviembre 2019

El/La autor/a:

Fdo.: Cristina de Castro Díaz

El/la tutor/a:

El/la tutor/a:

Fdo.: José I. Aguirre de Miguel
Dpto. Biodiversidad, Ecología y Evolución

Fdo.: Irene Hernández Téllez
Dpto. Biodiversidad, Ecología y Evolución

D./Dña. **Cristina de Castro Díaz** con NIF **06018472Q**, estudiante de Máster en la **Facultad de Ciencias Biológicas** de la Universidad Complutense de Madrid en el curso **2018 - 2019**, como autor/a del trabajo de fin de máster titulado **CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA Y COMPORTAMENTAL DE AVES FORESTALES DEL CENTRO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA**

y presentado para la obtención del título correspondiente, cuyo/s tutor/ es/son: **José Ignacio Aguirre de Miguel e Irene Hernández Téllez**

DECLARO QUE:

El trabajo de fin de máster que presento está elaborado por mí y es original. No copio, ni utilizo ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones de cualquier obra, artículo, memoria, o documento (en versión impresa o electrónica), sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía. Así mismo declaro que los datos son veraces y que no he hecho uso de información no autorizada de cualquier fuente escrita de otra persona o de cualquier otra fuente.

De igual manera, soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estos extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

En Madrid, a 6 de noviembre de 2019



Fdo.: Cristina de Castro Díaz

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIAL Y MÉTODOS	7
Área de estudio.....	7
Especies objeto de estudio	9
Toma de muestras.....	9
Análisis de muestras.....	11
Análisis estadísticos	12
RESULTADOS	13
Parámetros biométricos	13
Parámetros fisiológicos.....	15
Parámetros comportamentales	17
DISCUSIÓN.....	20
CONCLUSIÓN.....	24
AGRADECIMIENTOS	25
BIBLIOGRAFÍA	26

RESUMEN

La urbanización es una de las principales amenazas para la vida silvestre, sin embargo, para las especies capaces de adaptarse, los entornos urbanos pueden ser ventajosos. Es importante entender cómo las perturbaciones de las ciudades afectan a los organismos, pero también cómo estos son capaces de adaptarse a ellas. Gracias a la capacidad de las aves para explotar multitud de hábitats han sido elegidas como organismo modelo para este estudio. En este trabajo hemos estudiado el estado de varias poblaciones de paseriformes forestales ubicadas en entornos con diferente presencia humana. Para llevar a cabo nuestro objetivo hemos analizado estas poblaciones a través de diferentes parámetros morfológicos, fisiológicos y comportamentales. Los diferentes aspectos del tamaño corporal mostraron tendencia a ser mayores en el entorno rural. El estrés fisiológico, medido a través de la relación H/L, fue similar en los diferentes entornos. Los análisis comportamentales arrojaron resultados similares en las diferentes localidades de estudio, aunque los páridos difirieron ligeramente. En todos los casos la presencia de parásitos fue mayor en el hábitat rural, aunque cada especie presentó diferentes parásitos sanguíneos predominantes. A la vista de los resultados obtenidos parece que los entornos urbanos ofrecen para las especies objeto de estudio una cantidad de recursos aceptable en cuanto a la alimentación y un riesgo de parasitismo reducido, aunque albergan diversas fuentes de estrés, ante algunas de las cuales los individuos parecen haberse adaptado en mayor o menor medida. Puede parecer que las áreas urbanas no son hábitats particularmente estresantes, al menos para las especies capaces de colonizarlos.

Palabras clave: Biometría, estrés, frecuencia respiratoria, inmovilidad tónica, parásitos sanguíneos, paseriformes forestales, relación heterófilos/linfocitos, urbanización.

INTRODUCCIÓN

La matriz urbana crece a gran velocidad en todo el mundo (United Nations, 2018). La actividad humana genera niveles elevados de contaminación química (Bichet *et al.*, 2013), lumínica (Gaston *et al.*, 2013) y acústica (Slabbekoorn, 2013), y transforma irreversiblemente la estructura y los procesos ecológicos de los hábitats naturales (McKinney, 2002), lo que se considera actualmente una de las principales amenazas para la biodiversidad (Seress & Liker, 2015; Senar *et al.*, 2017). A pesar de que la urbanización es una de las principales causas de extinción de especies (McKinney, 2006), los entornos urbanos también pueden ser ventajosos para algunas de ellas, que han conseguido adaptarse y explotar los recursos humanos para prosperar (Møller, 2009; Minias, 2015).

En este contexto, es necesario estudiar los efectos de la urbanización sobre la vida silvestre para comprender cómo pueden adaptarse las especies a las limitaciones de su entorno y a los cambios que generamos los seres humanos (Gładalski *et al.*, 2016). Las aves son modelos muy adecuados para estudiar los efectos de la urbanización ya que presentan una marcada sensibilidad a los cambios ambientales que se suceden dentro de las ciudades (Palomino & Carrascal, 2006) y ocupan una gran variedad de entornos, tanto rurales como urbanos (Isaksson, 2018). En el presente estudio hemos querido indagar en los posibles efectos que puede provocar la vida en las ciudades sobre la biología de las aves. Para comparar el estado en el que se encuentran las especies de nuestro estudio en el ambiente rural y urbano hemos escogido diferentes parámetros morfológicos, fisiológicos y comportamentales que reflejan la condición en la que se encuentran y el estrés que deben soportar.

Las aves poseen formas muy variadas de conseguir su alimento y de desplazarse por su entorno, y algunos de sus rasgos como la longitud del pico o del ala reflejan esta diversificación de nichos tróficos a través de diferentes adaptaciones que permiten obtener alimentos de un tamaño específico o un forrajeo más eficiente (Wiens & Rotenberry, 1980). Los cambios en las dimensiones de tales rasgos se relacionan con variaciones en la aptitud para competir con individuos de su propia especie, o de otras (Clegg & Owens, 2002). Dentro de los parámetros morfológicos de nuestro estudio se encuentra la longitud del ala, que está relacionada con la presencia de restricciones energéticas en el momento del crecimiento de las plumas (Meillère *et al.*, 2015). Por otra parte, el volumen del pico se ha utilizado comúnmente

en estudios relacionados con la dieta (Tellería & Carbonell, 1999). También hemos seleccionado la condición corporal, que se define como las reservas energéticas acumuladas en el cuerpo como resultado de la alimentación. Esta medida se ha utilizado tradicionalmente como un indicador de salud y calidad del individuo, separando los efectos del tamaño estructural del cuerpo de los de las reservas energéticas, ya que ambos aspectos tienen consecuencias importantes para el estado físico o las tasas de supervivencia (Peig & Green, 2009).

La relación entre heterófilos y linfocitos (H/L) es un parámetro fisiológico utilizado como método hematológico, empleado originalmente para detectar estrés crónico en pollos domésticos (Gross & Siegel, 1983). Los factores estresantes como la falta de alimento, las temperaturas extremas, la luz constante o la exposición a situaciones desconocidas aumentan el número de heterófilos y disminuyen el número de linfocitos, estos cambios se deben principalmente a variaciones en la hormona corticosterona (Vleck, 2002). El número de leucocitos en sangre cambia lentamente en respuesta al estrés (30 minutos a 20 horas) y la magnitud de estos cambios depende de la intensidad y la persistencia del factor estresante (Norte *et al.*, 2009; Clark, 2014; Gładalski, 2016). Generalmente, el índice de estrés en aves se ha estimado a través de los niveles de corticosterona en sangre (Beaugeard *et al.*, 2019). El problema de este glucocorticoide es que tiene una vida media muy corta, por lo que sus niveles disminuyen y desaparecen sus efectos rápidamente, por tanto, la relación H/L supone una medida menos variable que la medida de los niveles de corticosterona (Scanes, 2016).

La carga de parásitos sanguíneos presente en cada especie puede verse afectada por sus condiciones ambientales. Las condiciones urbanas pueden afectar a la diversidad de vectores transmisores de parásitos y cambiar la tasa de infección entre los hospedadores, lo que puede influir en la supervivencia de las aves en las ciudades (Delgado & French, 2012).

La tasa respiratoria, el primero de los parámetros comportamentales elegidos para nuestro estudio, es una medida del número de respiraciones por unidad de tiempo. Generalmente, se ha empleado como una medida indirecta de la frecuencia cardíaca y se utiliza para caracterizar de manera no invasiva la sensibilidad al estrés y la forma de afrontarlo por parte de las aves (Carere & van Oers, 2004; Krams *et al.*, 2014). Evaluar el estrés a través de la tasa respiratoria es un método económico, no invasivo y directo muy útil como herramienta de evaluación rápida (Liang *et al.*, 2018). Por otra parte, la

inmovilidad tónica, está relacionada con el nivel de corticosterona en sangre, cuanto más alto es este nivel mayor duración tiene la inmovilidad tónica (Wang *et al.*, 2013). Como ya hemos mencionado, altos niveles de corticosterona son la consecuencia de un estímulo estresante, en este caso relacionado con la depredación (Hoagland, 1928; Jones, 1986; Boissy, 1995). Estos dos indicadores de estrés no suponen la utilización de métodos invasivos, ya que se basan principalmente en la observación del comportamiento en consecuencia del manejo, sin necesidad de aislar, trasladar o manipular a los animales más de lo necesario.

Este estudio tiene como objetivo principal comparar el estado en el que se encuentran los individuos de mirlo común *Turdus merula* Linneo, 1758, herrerillo común *Cyanistes caeruleus* Linneo, 1758 y carbonero común *Parus major* Linneo, 1758 en diferentes emplazamientos de tipo urbano, periurbano y rural de la Comunidad de Madrid, con el fin de averiguar si la vida en las ciudades aporta algún beneficio, o si, por el contrario, supone algún perjuicio para estas aves en comparación con las que viven en la naturaleza. Para ello nos centraremos en diferentes aspectos:

(1) **Estudiar la morfología de las aves a través de diferentes medidas biométricas.** De cara a la inalterable expansión de las ciudades y otro tipo de zonas urbanas es importante conocer cómo pueden variar las estructuras de vuelo y esqueléticas de las aves en comparación con el que sería su estado en la naturaleza, ya que ello implicaría importantes variaciones en otros aspectos de su biología. A través del análisis de las medidas biométricas de las aves rurales y urbanas se podrá esclarecer el efecto que tiene la vida en las ciudades sobre su morfología.

Esperamos encontrar estructuras corporales de dimensiones similares en las diferentes localidades de estudio. Puesto que las diferentes medidas morfológicas en cuestión dependen principalmente de la alimentación, este no tendría por qué ser un recurso limitante para especies esencialmente generalistas.

(2) **Estudiar la fisiología de las aves a través de recuentos celulares.** La vida en las ciudades supone limitaciones diferentes a las del medio natural, aunque también ofrece oportunidades a aquellas especies capaces de aprovecharlas. Mediante el análisis de la sangre de las especies de estudio se podrá obtener información sobre el estrés o los beneficios que puede suponer aprovechar el entorno urbano, por ello esperamos que la relación de heterófilos frente a la de linfocitos sea superior en las zonas urbanas (tanto en la zona periurbana como en la urbana) en comparación con la rural.

En cuanto a la diferencia en la abundancia y tipos de parásitos sanguíneos, creemos que los índices de parasitemia serán mayores en las zonas rurales y que la disminución del parasitismo en el entorno urbano podría ser parte del motivo de éxito de ciertas especies.

(3) **Estudiar el comportamiento de las aves a través de medidas conductuales.** Las diferencias que existen en multitud de dimensiones entre el entorno urbano y el rural suponen distintas aproximaciones a la hora de explotar los recursos que ofrecen y diversas consecuencias a la hora de afrontar el estrés. A través del análisis de la frecuencia cardíaca asociada a la respiración y de la respuesta que exhiben los individuos ante estímulos estresantes, podremos comprender cómo lidian en diferentes ambientes con el estrés y cómo se adaptan a las dificultades que encuentran. Ya que las aves urbanas están más acostumbradas a la presencia humana que las rurales, creemos que mostrarán niveles más bajos de estrés reflejados en su comportamiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

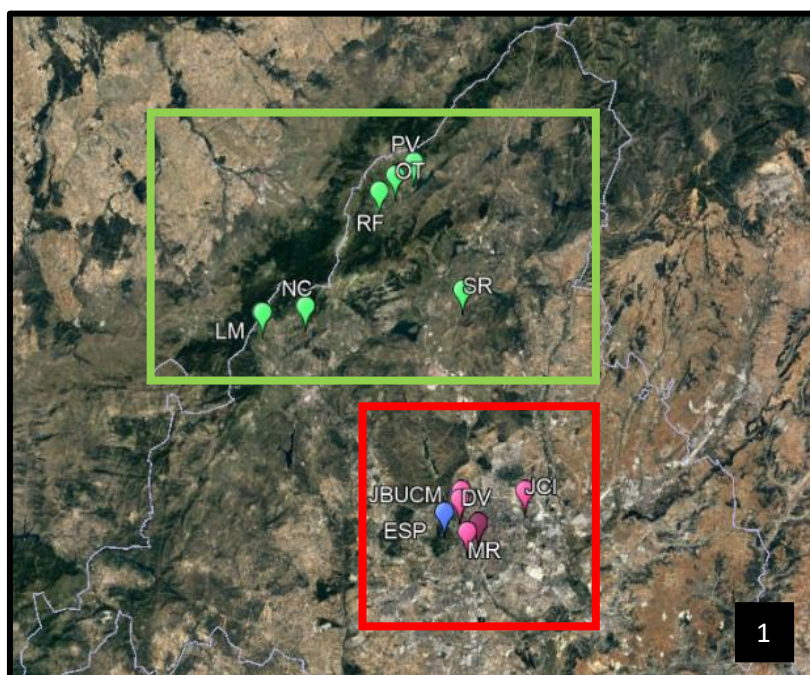
ÁREA DE ESTUDIO

El estudio ha sido realizado en la Comunidad de Madrid en tres zonas de muestreo: urbano, periurbano y rural. Considerando como urbanas las zonas localizadas dentro de la matriz urbana, periurbanas fuera de la matriz urbana en un entorno natural con acceso restringido a los visitantes que limita con la ciudad y rurales fuera de la ciudad de Madrid a más de 36 km (Figura 1).

El grupo urbano (URB) está representado por 5 parques y jardines situados dentro de la ciudad de Madrid: Real Jardín Botánico Alfonso XIII ($40^{\circ}26'47.2''\text{N}$ $3^{\circ}43'33.7''\text{W}$), Real Jardín Botánico ($40^{\circ}24'43.2''\text{N}$ $3^{\circ}41'24.9''\text{W}$), parque Juan Carlos I ($40^{\circ}27'30.4''\text{N}$ $3^{\circ}36'04.1''\text{W}$), Dehesa de la Villa ($40^{\circ}27'30.0''\text{N}$ $3^{\circ}43'24.6''\text{W}$) y parque Madrid Río ($40^{\circ}23'57.6''\text{N}$ $3^{\circ}42'41.3''\text{W}$).

El periurbano (PER) está formado por el Encinar de San Pedro ($40^{\circ}25'37.3''\text{N}$ $3^{\circ}45'20.4''\text{W}$), enclave de alto valor ecológico de acceso restringido dentro de la Casa de Campo.

El entorno rural (RUR) está formado por distintos puntos ubicados en las localidades de: Soto del Real ($40^{\circ}44'47.4''\text{N}$ $3^{\circ}43'18.2''\text{W}$), Navacerrada ($40^{\circ}43'20.2''\text{N}$ $4^{\circ}01'29.6''\text{W}$), Los Molinos ($40^{\circ}42'46.6''\text{N}$ $4^{\circ}06'29.1''\text{W}$), Pinilla del Valle ($40^{\circ}55'48.6''\text{N}$ $3^{\circ}48'59.8''\text{W}$), Rascafría ($40^{\circ}53'17.1''\text{N}$ $3^{\circ}53'00.5''\text{W}$) y Oteruelo ($40^{\circ}54'40.2''\text{N}$ $3^{\circ}51'10.2''\text{W}$).



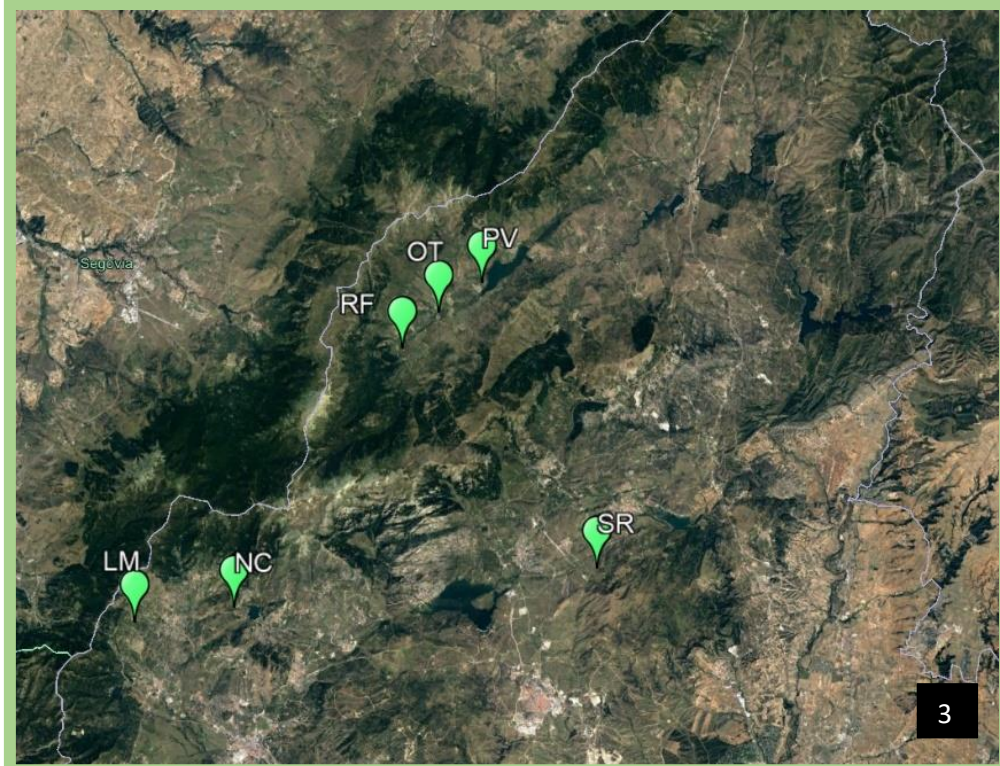
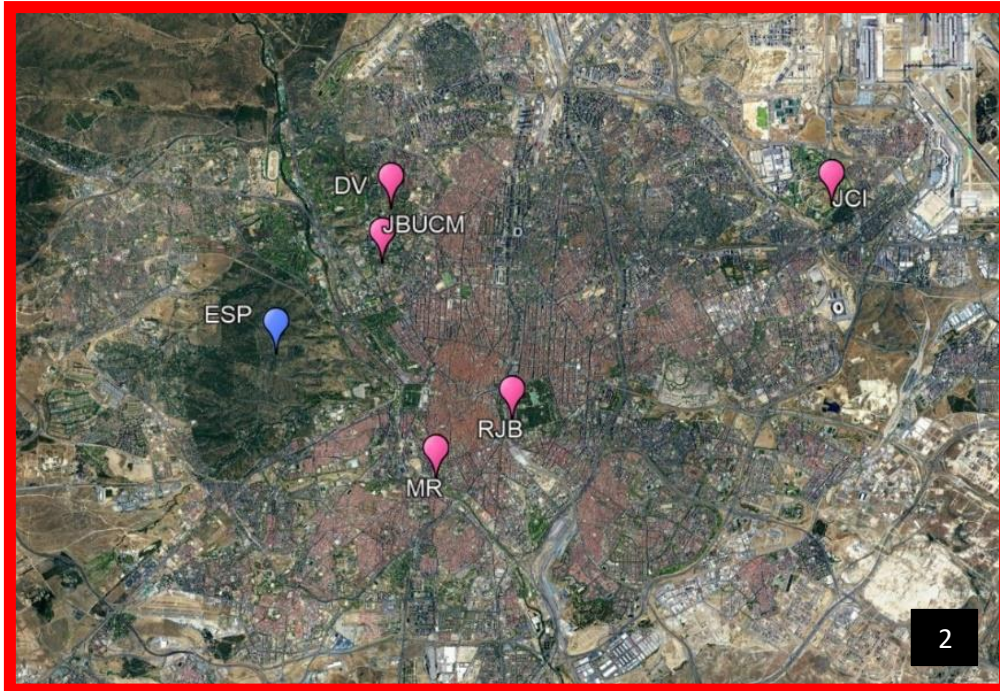


Figura 1. Mapas de las localidades de estudio (Imágenes de Google Earth).

Mapa 1. Vista de la Comunidad de Madrid, el cuadro rojo indica el mapa 2, el cuadro verde indica el mapa 3.

Mapa 2. Muestra las localidades situadas en el entorno urbano en rosa: JBUCM (Real Jardín Botánico Alfonso XIII), RJB (Real Jardín Botánico), JCI (Juan Carlos I), DV (Dehesa de la Villa) y MR (Madrid Río); y el entorno periurbano en azul: ESP (Encinar de San Pedro).

Mapa 3. Muestra las localidades situadas en el entorno rural: SR (Soto del Real), NC (Navacerrada), LM (Los Molinos), PV (Pinilla del Valle), RF (Rascafría) y OT (Oteruelo).

ESPECIES OBJETO DE ESTUDIO

En este trabajo nos centramos en tres especies: *Turdus merula*, *Cyanistes caeruleus* y *Parus major*; se trata de algunas de las especies de aves más frecuentes en las áreas urbanizadas del Paleártico occidental (Evans *et al.*, 2009b; Banbura *et al.*, 2013). Son especies forestales principalmente insectívoras que ocupan una gran amplitud de hábitats y que emplean dos estrategias de alimentación características: mientras que *Turdus merula* se alimenta frecuentemente en el suelo (Aparicio, 2016), *Cyanistes caeruleus* y *Parus major* se alimentan sobre todo en las ramas pequeñas de los árboles (Atiénzar *et al.*, 2016; Salvador, 2016).

Las especies seleccionadas son, por las razones descritas, ideales para su muestreo mediante redes japonesas, las cuales son muy efectivas y seguras para poder atrapar este tipo de aves de pequeño tamaño, para lo cual hay que adaptar su disposición entre arbustos o filas de árboles cerca de fuentes de alimentación o masas de agua, por donde suelen pasar estos animales a lo largo de su rutina diaria.

TOMA DE MUESTRAS

Los datos han sido recolectados durante la época de reproducción de 2018 (4 a 23 de junio) y de 2019 (8 de marzo a 3 de julio) en las localidades de estudio antes mencionadas. En total se han realizado 51 días de muestreo distribuidos de la siguiente forma: en las localidades del grupo urbano se ha muestreado un total 24 días, 12 días en la localidad de grupo periurbano y 15 días en las localidades de entorno rural. Cada jornada de muestreo tuvo una duración de 6 horas.

Se ha seguido una metodología estandarizada para cada jornada de muestreo. En primer lugar, y tras acceder a la zona elegida para la captura de los ejemplares de las especies seleccionadas, se dispusieron un número variable de metros de red japonesa (entre 24 y 60 metros), que estuvieron totalmente instaladas al amanecer. Se visitaron las redes a intervalos regulares de una hora recolectando los ejemplares que se habían enredado en ellas introduciéndolos en colectores de tela para su transporte hasta la zona de toma de datos, suficientemente distante de la zona de capturas como para no interferir con las mismas.

Una vez finalizada la recolección de las aves se procede a su anillamiento, siguiendo el protocolo para el Anillamiento Científico de Aves Silvestres (Pinilla, 2000). En primer lugar, se individualizaron mediante anillas oficiales de metal, una vez

identificada la especie a la que pertenece el individuo en cuestión. A continuación, se procede a su asignación de edad y sexado, de acuerdo con las características del plumaje (Svensson, 2009).

Se tomaron diferentes medidas biométricas: longitud del ala plegada, longitud del pico (pico-cráneo), anchura del pico (a nivel de las comisuras) y altura del pico (al nivel de las narinas), longitud del tarso corto (desde la articulación tibiotarsal hasta la primera escama central de los dedos) (mm) y peso (g). Solamente se tuvieron en cuenta los individuos adultos descartando los nacidos durante el año de muestreo.

A partir de las tres medidas del pico se calculó el volumen de este (García-Antón, 2013), mediante la fórmula empleada para calcular el volumen de un cono:

$$V_{pico} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h}{3}$$

Consideramos elipsoidal la base del cono (Figura 2), puesto que la anchura y altura del pico son distintas, por lo que: $r^2 = a \cdot b$, siendo a la altura y b la anchura del pico. A partir de esto calculamos h , la altura del cono, siguiendo el Teorema de Pitágoras: $c^2 = a^2 + h^2$; $h = \sqrt{c^2 - a^2}$; siendo c la longitud del pico. Una vez obtenido h se realiza el cálculo del volumen del pico:

$$V_{pico} = \frac{\pi \cdot a \cdot b \cdot h}{3}$$

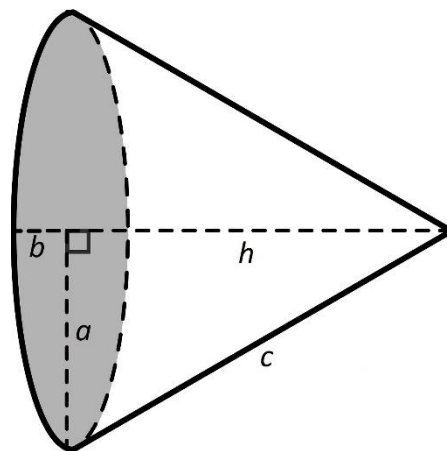


Figura 2. Cono de base elipsoidal representando el volumen del pico, donde h es la altura del cono, a la altura del pico, b la anchura y c la altura.

Por otra parte, la longitud del tarso y el peso se emplearon para calcular el índice de masa corporal corregida (SMI). Según Peig & Green (2009), es el cálculo de los residuos de una regresión de la masa corporal frente a la longitud del tarso basada en mínimos cuadrados. Se expresa de la siguiente forma:

$$\hat{M}_i = M_i \cdot \left[\frac{L_o}{L_i} \right]^{b_{SMA}}$$

Siendo M_i y L_i , los valores de peso y longitud del tarso respectivamente, observados para el individuo. L_o es el promedio de la longitud del tarso de la población de estudio y, por último, b_{SMA} es el exponente de escala estimado por la regresión SMA del peso sobre la longitud del tarso, ha sido calculado indirectamente dividiendo la pendiente de una regresión de mínimos cuadrados (b_{OLS}) por el coeficiente de correlación de Pearson r .

A continuación, se midieron dos respuestas comportamentales: la tasa respiratoria (respiraciones/min) y la inmovilidad tónica (s). La tasa respiratoria se tomó colocando al pájaro sobre su espalda, con la cabeza inmovilizada entre los dedos y los tarsos con la otra mano, anotando la frecuencia de la respiración cada 15 segundos durante 1 minuto, teniendo en cuenta para los análisis estadísticos la medida a los 15 y a los 60 segundos (Møller & Ibáñez-Álamo, 2012). La inmovilidad tónica mide el tiempo que el ave tarda en escapar una vez colocado en la palma de la mano sobre su espalda, sin estar sujeto. Se cronometró el tiempo que el individuo permaneció inmóvil tomando como límite de tiempo 30 segundos (Møller & Ibáñez-Álamo, 2012).

Por último, se tomó una muestra de sangre de la vena yugular con la que se realizó un frotis sanguíneo en el momento para su posterior análisis en el laboratorio. Al finalizar cada jornada los frotis sanguíneos, una vez secos, se fijaron en etanol absoluto sumergiéndolos en el mismo durante 3 minutos.

ANÁLISIS DE MUESTRAS

Los frotis de sangre se examinaron mediante microscopía óptica con el objetivo de 100 aumentos con aceite de inmersión. Se llevó a cabo el conteo de los linfocitos, heterófilos, eosinófilos, basófilos y monocitos, que fueron identificados de acuerdo con los criterios establecidos por Clark *et al.* (2009); para ello previamente se tiñeron mediante una tinción Giemsa. Para cada uno de los frotis se realizó un barrido hasta que

el número total de células identificadas fue de 100. Esta evaluación permitió el cálculo de la relación heterófilos/linfocitos (H/L), un valor utilizado como índice de estrés crónico en las aves (Vleck *et al.*, 2000). Los factores estresantes múltiples generalmente tienen un efecto aditivo, lo que junto con el hecho de que es fácil de medir y de que supone un bajo coste, la relación H/L es una medida ideal para llevar a cabo los objetivos de nuestro estudio.

De forma simultánea a esto, se identificaron (a nivel de género) los parásitos presentes en los frotis sanguíneos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se ha analizado si existen diferencias significativas entre las zonas de muestreo para las siguientes variables: medida del ala, volumen pico, condición física, relación heterófilos/linfocitos, tasa respiratoria, inmovilidad tónica y presencia de parásitos sanguíneos por género. Para ello se realizó un análisis de la varianza (ANOVA multifactorial) para cada especie, empleando como factores de clasificación la localidad de estudio, el sexo y la edad.

Todos los análisis se han llevado a cabo mediante el programa estadístico R, versión R.3.6.1.

RESULTADOS

Durante el periodo de estudio se capturaron en total 173 individuos distribuidos entre las zonas de muestreo como se observa en la Tabla 1, de cada uno se tomaron las medidas descritas anteriormente y una muestra de sangre.

	<i>Turdus merula</i>	<i>Cyanistes caeruleus</i>	<i>Parus major</i>	<i>Total</i>
Urbano	22	13	15	47
Periurbano	11	21	14	46
Rural	27	25	25	77
Total	60	49	64	

Tabla 1. Número de individuos muestreados en cada entorno de estudio.

PARÁMETROS BIOMÉTRICOS

No se han obtenido diferencias significativas respecto a la longitud del ala plegada para *Turdus merula* (*Tm*) ($F_{(2,48)}= 2.562$, $p=0.087$) y *Parus major* (*Pm*) ($F_{(2,42)}= 1.470$, $p=0.241$) entre localidades, sin embargo *Cyanistes caeruleus* (*Cc*) sí muestra diferencias significativas entre localidades (Figura 3), con un tamaño de ala mayor en las poblaciones rurales respecto a las poblaciones periurbanas ($F_{(2,53)}= 8.370$, $p=0.0007$), aunque las medidas para la zona urbana no muestran diferencias significativas con los otros conjuntos de localidades.

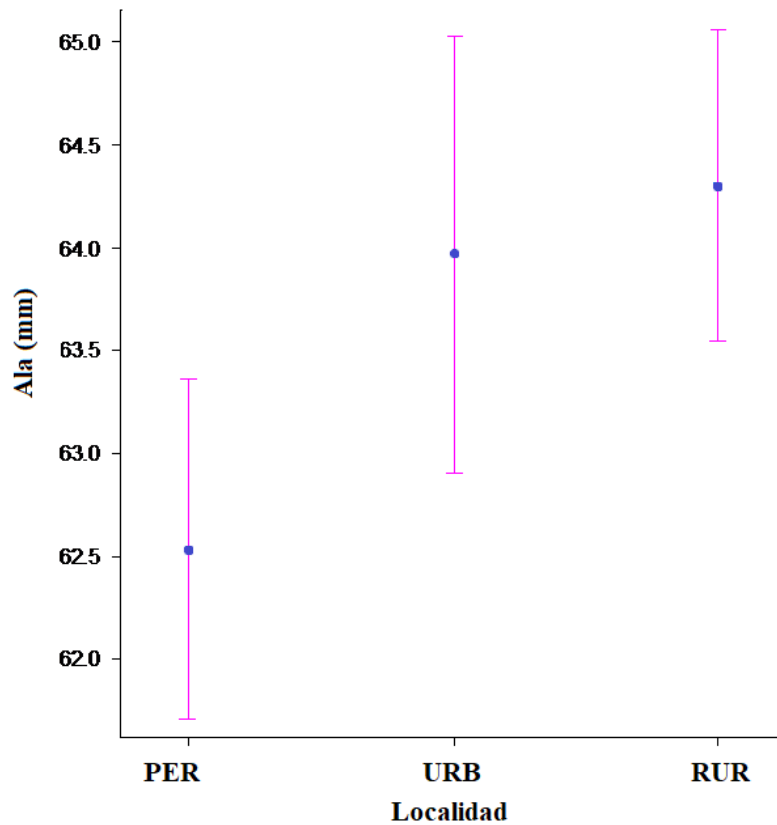


Figura 3. Estudio de la longitud del ala (mm) de *Cyanistes caeruleus* en las tres localidades de estudio. PER: Periurbano; URB: Urbano; RUR: Rural.

Tal y como muestran los resultados estadísticos referentes al volumen del pico, existen diferencias significativas entre localidades en el caso de *Tm* ($F_{(2,57)}=31.830$, $p=5.22 \cdot 10^{-10}$). El volumen es significativamente mayor en los individuos rurales, con respecto a los individuos del hábitat periurbano y los urbanos (Figura 4). Sin embargo, no se han encontrado diferencias significativas para el volumen del pico entre localidades en *Pm* ($F_{(2,48)}=1.173$, $p=0.318$) y *Cc* ($F_{(2,56)}=1.841$, $p=0.168$).

Por último, no se han encontrado diferencias significativas en la medida de la masa corporal entre localidades en ninguna de las especies estudiadas: *Tm* ($F_{(2,56)}=0.015$, $p=0.985$), *Pm* ($F_{(2,51)}=2.899$, $p=0.064$), *Cc* ($F_{(2,55)}=0.368$, $p=0.694$).

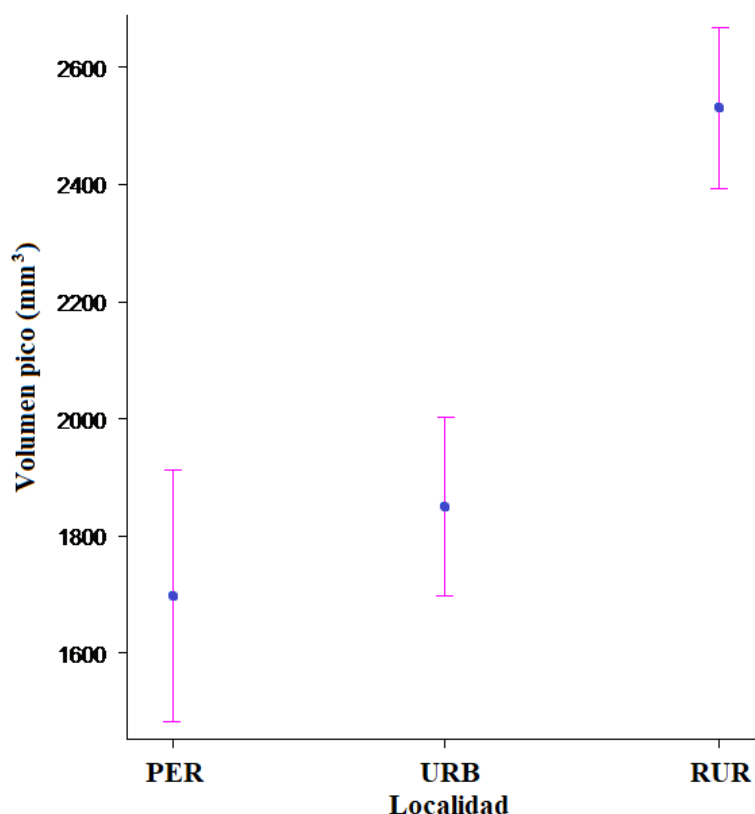


Figura 4. Estudio del volumen del pico (mm³) de *Turdus merula* en las tres localidades de estudio. PER: Periurbano; URB: Urbano; RUR: Rural.

PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

Los resultados de los análisis sobre la relación heterófilos/linfocitos no muestran diferencias significativas entre localidades para ninguna de las especies: *Tm* ($F_{(2,54)}=0.624$, $p=0.539$), *Pm* ($F_{(2,48)}=1.758$, $p=0.183$), *Cc* ($F_{(2,46)}=0.976$, $p=0.384$).

PRESENCIA DE PARÁSITOS

Tras el estudio de las muestras de sangre se ha visto que los géneros de protozoos *Haemoproteus* y *Leucocytozoon* son los parásitos sanguíneos predominantes en las aves de nuestro estudio, por ello son los únicos que se han incluido en los análisis estadísticos. El análisis de la presencia de *Haemoproteus*, no arroja diferencias significativas entre las localidades de estudio para el caso de *Tm* ($F_{(2,54)}=0.774$, $p=0.466$), por lo contrario sí lo hace para *Pm* y *Cc*. En la Figura 5, se observa que la presencia de *Haemoproteus* es significativa en *Pm* ($F_{(2,51)}=7.500$, $p=0.001$), donde los individuos del hábitat rural muestran una mayor presencia que los individuos del hábitat urbano y periurbano. Lo mismo ocurre en el caso de *Cc*, (Figura 6), la presencia de *Haemoproteus* es significativamente mayor en la zona rural, que en la urbana y periurbana ($F_{(2,46)}= 41.575$, $p=8.921^{-11}$).

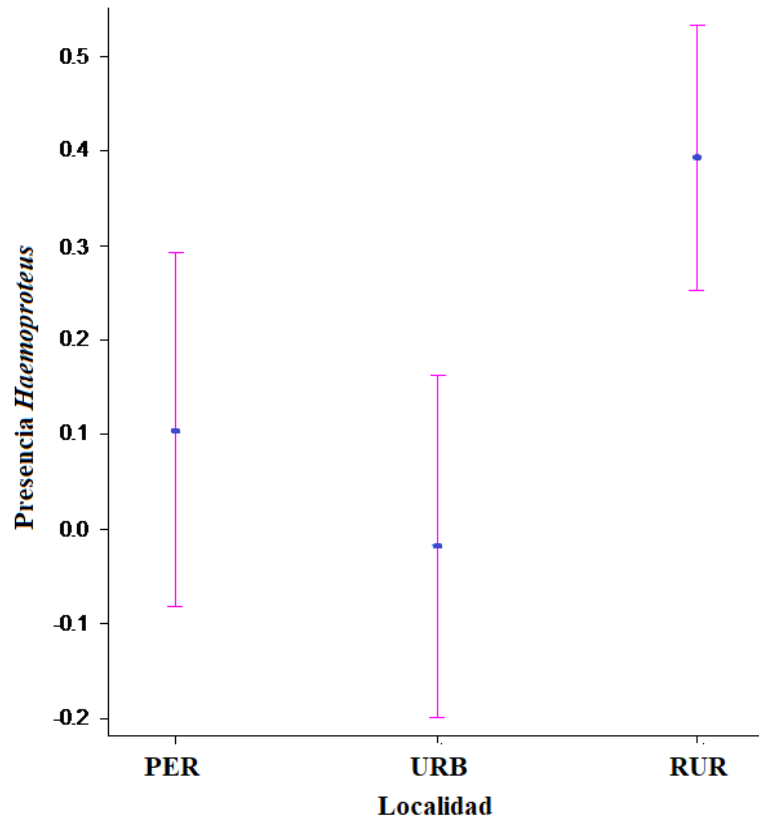


Figura 5. Presencia de *Haemoproteus* en *Parus major* en las tres localidades de estudio. PER: Periurbano; URB: Urbano; RUR: Rural.

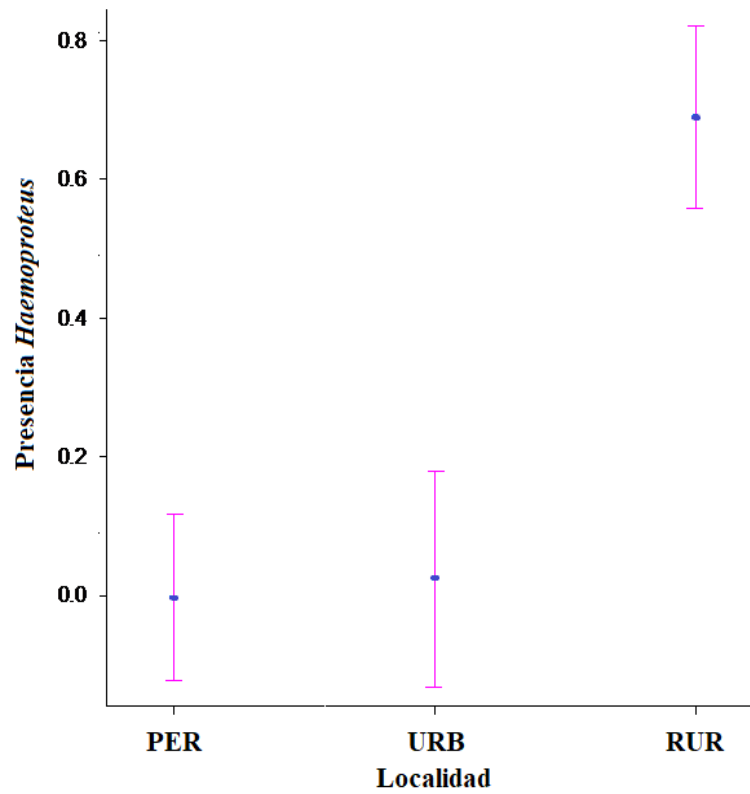


Figura 6. Presencia de *Haemoproteus* en *Cyanistes caeruleus* en las tres localidades de estudio. PER: Periurbano; URB: Urbano; RUR: Rural.

Respecto a la presencia de *Leucocytozoon*, se han encontrado diferencias significativas para *Tm* (Figura 7), en el que la presencia de *Leucocytozoon* es significativamente mayor en los individuos del hábitat rural, que los de los hábitats urbanos y periurbanos ($F_{(2,54)}=6.837$, $p=0.002$). Por otro lado, *Pm* y *Cc* no muestran diferencias significativas en la presencia de *Leucocytozoon* entre las localidades ($F_{(2,51)}=0.428$, $p=0.654$ y $F_{(2,46)}=0.363$, $p=0.698$ respectivamente).

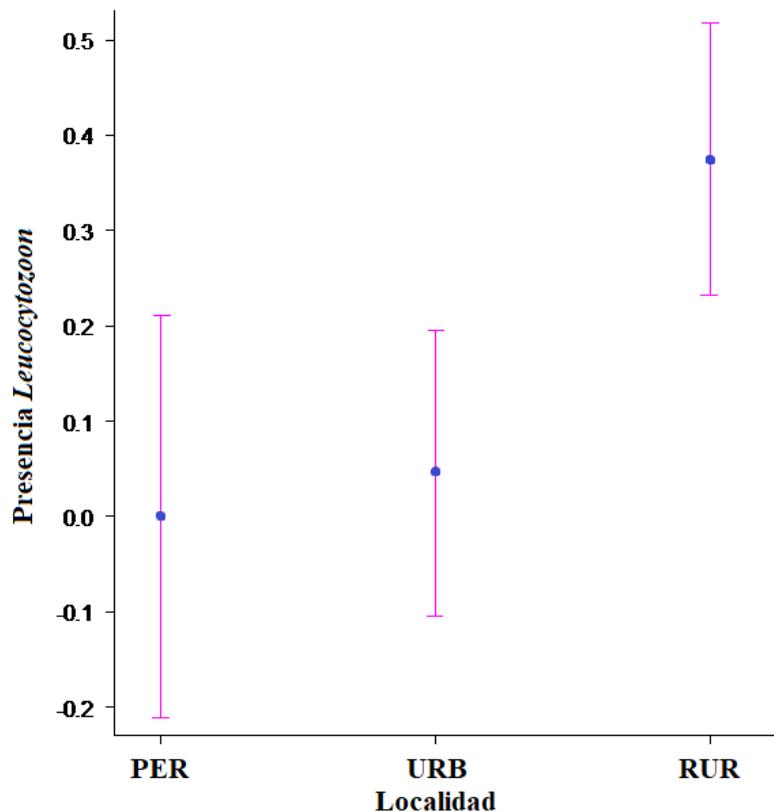


Figura 7. Presencia de *Leucocytozoon* en *Turdus merula* en las tres localidades de estudio. PER: Periurbano; URB: Urbano; RUR: Rural.

PARÁMETROS COMPORTAMENTALES

Respecto a la tasa respiratoria no se han obtenido diferencias significativas entre localidades en ninguna de las especies: *Tm* ($F_{(2,57)}=0.519$, $p=0.598$), *Pm* ($F_{(2,51)}=1.473$, $p=0.239$), *Cc* ($F_{(2,56)}=1.031$, $p=0.363$). Sin embargo, la inmovilidad tónica de *Tm* no varía entre localidades ($F_{(2,55)}=0.703$, $p=0.499$) pero sí existen diferencias significativas en los páridos estudiados.

En el caso de *Pm* (Figura 8), la inmovilidad tónica varía significativamente entre localidades ($F_{(2,50)}=7.037$, $p=0.002$). Los individuos presentan tiempos de reacción menores en el hábitat rural, en comparación con los individuos de los hábitats periurbano y urbano. Lo mismo ocurre en el caso de *Cc* ($F_{(2,50)}= 10.300$, $p=0.0002$) (Figura 9), que presentan un tiempo de inmovilidad tónica significativamente menor en el hábitat rural que en el periurbano y urbano.

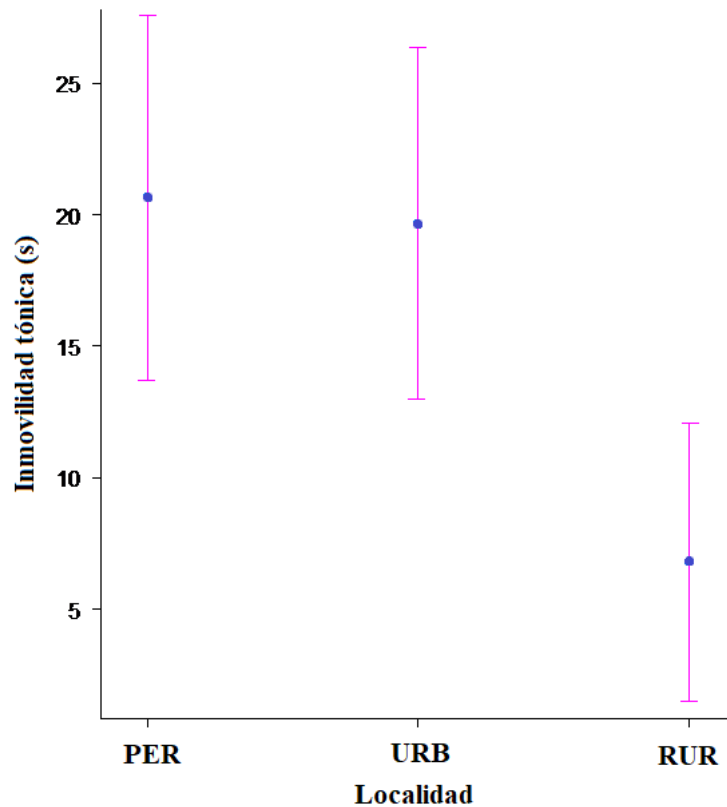


Figura 8. Estudio de la inmovilidad tónica (s) de *Parus major* en las tres localidades de estudio. PER: Periurbano; URB: Urbano; RUR: Rural.

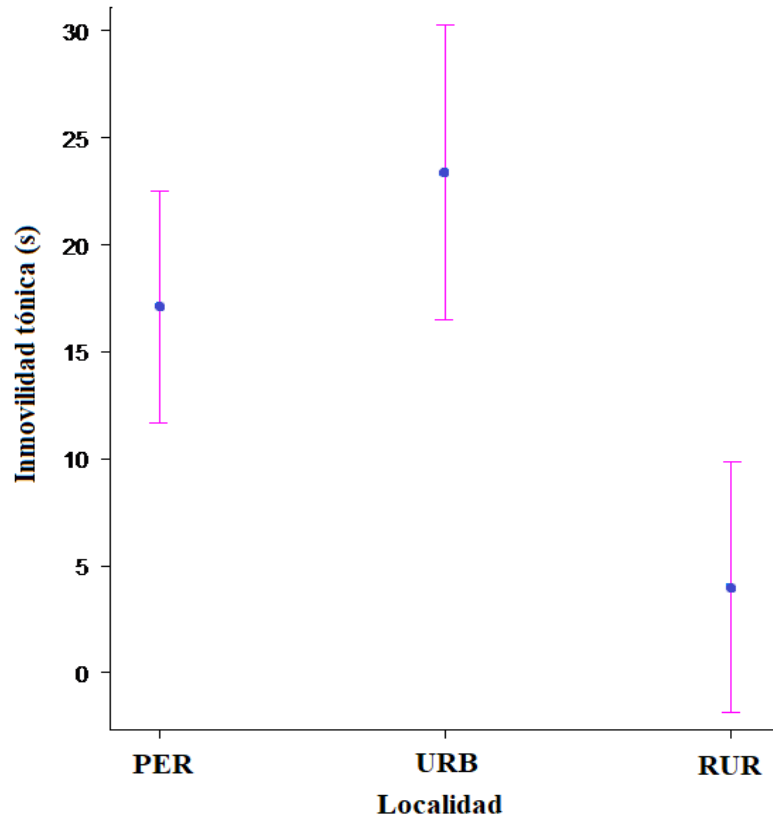


Figura 9. Estudio de la inmovilidad tónica (s) de *Cyanistes caeruleus* en las tres localidades de estudio. PER: Periurbano; URB: Urbano; RUR: Rural.

DISCUSIÓN

Según los resultados de nuestros análisis sólo se encontraron diferencias significativas para la longitud del ala en el herrerillo común, siendo mayor en las poblaciones rurales en comparación con la periurbana. En cambio, ni el mirlo común ni el carbonero común mostraron diferencias significativas en cuanto a esta medida entre localidades.

Estos resultados son comparables con los obtenidos en otros estudios similares, en los cuales tampoco se obtienen diferencias significativas en cuanto a la longitud del ala entre poblaciones urbanas y rurales de paseriformes forestales, incluso muestran tendencias a una longitud mayor en las poblaciones urbanas (Evans *et al.*, 2009a). Tales estudios apuntan a que las poblaciones de este tipo de aves no presentan restricciones alimentarias en el momento de crecimiento de las plumas (Meillère *et al.*, 2015), o al menos que estas restricciones no difieren entre localidades, por lo que el tamaño del ala sería similar entre poblaciones.

Aunque, en nuestro estudio, esto es diferente en el caso de *Cyanistes caeruleus*, que, aunque junto con *Parus major* pertenece a la familia Paridae y, que la zona de alimentación de ambos suelen ser las hojas o las ramas finas de los árboles, los herrerillos son más especialistas, lo que supone que tienen más restricciones de alimentación y por tanto son más sensibles a los cambios en las estructuras de los hábitats (Nour *et al.*, 1998; Hinsley *et al.*, 2008).

Por otra parte, el mirlo común al contrario que los páridos, se alimenta principalmente en el suelo. Los resultados muestran que las poblaciones de mirlos rurales presentan un volumen de pico mayor que las urbanas (tanto en las áreas urbanas como periurbanas). El tamaño del pico está determinado principalmente por la alimentación; según Cuthill *et al.* (1992) la técnica de alimentación puede variar dependiendo del tipo de suelo: los picos de mayor tamaño son más ventajosos en suelos con superficies no muy duras en los que se puede llegar a zonas más profundas para obtener el alimento.

Las diferencias observadas en nuestro estudio respecto al volumen del pico de *Turdus merula* entre las localidades rurales y urbanas podría deberse a que los suelos de las zonas urbanas sean más duros o de difícil acceso para la alimentación que aquellos de las localidades rurales, dado que existen zonas asfaltadas, caminos y sendas para el acceso de las personas. Para futuros estudios sería interesante investigar con más detalle la composición de los suelos que forman los hábitats de estas poblaciones.

En cuanto a la medida de la masa corporal, esta no mostró diferencias significativas para ninguna de las especies. Otros estudios similares obtuvieron resultados diversos con diferentes especies de passeriformes. Por una parte, algunos estudios sostienen que la masa corporal del gorrión común (*Passer domesticus* L., 1758) se reduce al aumentar el gradiente de urbanización (Liker *et al.*, 2008; Meillère *et al.*, 2015). Esta tendencia podría deberse a la alimentación y al compromiso entre supervivencia o reproducción que han de afrontar en entornos con recursos limitados (Shochat *et al.*, 2004). Por otra parte, Evans *et al.* (2009a) no observó un patrón concluyente en este aspecto y propone que las diferencias de masa corporal en *Turdus merula* no se deben a un gradiente de urbanización si no a un gradiente latitudinal.

Con los estudios realizados hasta la fecha no se puede asegurar que las diferencias en cuanto a la masa corporal entre poblaciones de aves rurales y urbanas sean debidas a la propia localidad y es probable que esté condicionada en mayor medida por variaciones de las condiciones climáticas.

La relación heterófilos/linfocitos es un indicador de estrés a largo plazo, que aumenta en presencia de factores estresantes como el hambre, calor, ruido o enfermedad (Norte *et al.*, 2009). Por lo cual, esperamos que esta relación fuera superior en las zonas urbanas (tanto en la zona periurbana como estrictamente urbana) en comparación con la rural, en cambio, los resultados obtenidos muestran que no existen diferencias significativas entre las localidades mencionadas en ninguna de las especies de estudio. En cuanto a este parámetro, al igual que sucedía con la masa corporal, comentada anteriormente, parece que la urbanización no es el único factor determinante.

Meillère *et al.* (2015) no encontró diferencias consistentes en este índice de estrés entre poblaciones urbanas y rurales de *Passer domesticus*, mientras que Ruiz *et al.* (2002) sí encontró grandes diferencias entre poblaciones rurales y urbanas de *Zonotrichia capensis* S.M., 1776, donde las poblaciones urbanas mostraron una relación H/L cinco veces mayor que las rurales. Finalmente, otro estudio realizado con poblaciones de *Fulica atra* L., 1758 demostraba la respuesta contraria, siendo la relación menor en las aves urbanas (Minias, 2015).

Es probable que la relación de heterófilos/linfocitos observada en estudios anteriores en aves forestales sea menor en las zonas rurales debido a la disponibilidad de alimentos (Banbura *et al.*, 2013) y que, en el caso opuesto, la relación H/L sea más baja en zonas urbanas gracias al desarrollo de una respuesta más débil frente al estrés (Evans *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos en el presente estudio en cuanto a esta relación

indican que los individuos sufren un estrés similar en los diferentes entornos estudiados. Sería conveniente, en futuras investigaciones, estudiar la composición de la dieta y la disponibilidad de alimento para las aves e indagar sobre qué factores afectan al estrés de cada especie en cada localidad.

En referencia a la parasitemia, nuestros resultados muestran que la proporción de aves infectadas por parásitos sanguíneos fue menor en el hábitat urbano que en el rural. Estos resultados son consistentes con estudios anteriores que muestran que la prevalencia de este tipo de parásitos varía entre las poblaciones de aves de diferentes hábitats (Merilä *et al.*, 1995; Geue & Partecke, 2008).

Tanto herrerillos como carboneros comunes mostraron diferencias entre poblaciones para la presencia en sangre del género de protozoo *Haemoproteus* sp., mientras que en el mirlo común las diferencias se observaron en el género *Leucocytozoon* sp. Estas diferencias se deben probablemente a distinta abundancia de los vectores apropiados; la presencia de vectores suele ser menor en hábitats con baja densidad de árboles y arbustos y más baja aun en las áreas transformadas por los humanos en comparación con los ambientes más naturales (Merilä *et al.*, 1995). La variación en la mortalidad del huésped también puede alterar los patrones de infección parasitaria entre diferentes poblaciones (Merino *et al.*, 2000).

Aunque los últimos estudios sugieren que las diferencias en la infección parasitaria entre diferentes poblaciones y especies de aves no pueden atribuirse completamente a una diferente abundancia de vectores o a la condición corporal. Las interacciones entre el sistema inmune, el riesgo de infección por parásitos y la disponibilidad de recursos pueden contribuir a determinar la tasa de infección (Fokidis *et al.*, 2008). La disminución del parasitismo puede ser la clave del éxito de ciertas especies de aves en áreas urbanas (Geue & Partecke, 2008).

Por último, analizamos dos parámetros comportamentales en relación con la sensibilidad al estrés: la frecuencia respiratoria y la inmovilidad tónica. Generalmente, la frecuencia respiratoria se ha empleado como una medida indirecta de la frecuencia cardíaca y se utiliza para caracterizar de manera no invasiva la sensibilidad al estrés y la forma de afrontarlo por parte de las aves (Carere & van Oers, 2004; Krams *et al.*, 2014). La frecuencia respiratoria está determinada por factores estacionales y otros factores ecológicos propios de cada especie (Senar *et al.*, 2017), aunque no está claro qué aspectos de la fisiología afectan a este parámetro ni si su variación representa alguna

respuesta específica ante una determinada situación y general para cada especie (Abolins-Abols *et al.*, 2016).

Varios estudios apoyan esta teoría, puesto que encontraron tasas de respiración más altas en poblaciones de paseriformes urbanos en comparación con sus conespecíficos rurales, lo que podría estar relacionado con una mayor sensibilidad al estrés por parte de las aves urbanas (Torné-Noguera *et al.*, 2014). Por el contrario, son numerosos los estudios en los que se encontraron frecuencias respiratorias similares para las distintas ubicaciones de estudio, lo cual puede ser una condición indispensable para prosperar en las ciudades (Senar *et al.*, 2017; Liang *et al.*, 2018).

Esto es lo que podría estar ocurriendo con las poblaciones de nuestro estudio, ya que no hemos observado diferencias significativas en esta medida entre las poblaciones analizadas. Los individuos que habitan en el medio urbano habrían visto adaptada su frecuencia respiratoria a un ambiente especialmente estresante, lo que les permitiría sobrevivir en este entorno amortiguando el efecto del estrés.

Por otra parte, la inmovilidad tónica está relacionada con los niveles de corticosterona en sangre; altos niveles de corticosterona son consecuencia de un estímulo estresante, cuanto más alto es este nivel mayor duración tiene la inmovilidad tónica (Boissy, 1995).

Nuestros datos señalan que los páridos urbanos muestran una medida mayor de inmovilidad tónica que los rurales, es decir, las aves urbanas presentaron mayores niveles de estrés durante el manejo que las de las zonas rurales. La diferencia en la inmovilidad tónica entre las poblaciones urbanas y rurales se relaciona con la depredación. Las zonas urbanas muestran variación en la comunidad de depredadores respecto a las zonas rurales, especialmente mayor densidad de urracas (*Pica pica* Linnaeus, 1758) y gatos (*Felis silvestris catus* Schreber, 1775) (Antonov & Atanasova, 2003; Lepczyk *et al.*, 2004; Sims *et al.*, 2007; Sorace & Gustin, 2009). Debido al aumento de depredadores menos especializados, las aves podrían estar menos acostumbradas a encuentros con depredadores, por lo que el manejo de estas podría tener como resultado un mayor nivel de estrés (Torné-Noguera *et al.*, 2014). La depredación es una importante fuerza de selección que impulsa a la adaptación de las aves a los hábitats urbanos (Møller & Ibáñez-Álamo, 2012).

CONCLUSIÓN

A la vista de los resultados obtenidos, las áreas urbanas no parecen ser hábitats particularmente estresantes para aquellas especies capaces de colonizarlos, o al menos, no más estresantes que otros hábitats naturales.

Los parámetros biométricos estudiados no muestran diferencias claras entre las diferentes poblaciones, aunque parece que el nicho trófico juega un papel clave a la hora de explicar las diferencias observadas. La longitud del ala es menor en los herrerillos urbanos; es una especie más especialista por lo que son más sensibles a los cambios en las estructuras de los hábitats. El volumen del pico también es menor en los mirlos urbanos, lo cual se puede explicar por diferencias en la composición del suelo de su hábitat.

La relación H/L no es significativamente diferente entre poblaciones, esto indica que la respuesta al estrés es similar en los diferentes hábitats. Esto podría deberse a que los individuos del entorno urbano se han adaptado a los estímulos estresantes de este ambiente o a que las fuentes de estrés sean diferentes entre hábitats, pero de impacto similar en los individuos.

La presencia de los parásitos sanguíneos *Haemoproteus* sp. y *Leucocytozoon* sp. es menor en los páridos y mirlos urbanos, respectivamente. Esto puede deberse a que el entorno urbano presenta condiciones desfavorables para la presencia y proliferación de los vectores de estos parásitos y una cantidad de recursos suficientes como para desarrollar un sistema inmune capaz de disminuir el riesgo de infección. La disminución del parasitismo en el entorno urbano podría ser la clave del éxito de ciertas especies en estos ambientes.

Los páridos urbanos muestran un mayor tiempo de inmovilidad tónica, la cual se relaciona con mayores niveles de corticosterona en sangre y con la depredación. La presencia de depredadores urbanos no especializados puede ser la causa de la falta de costumbre de las aves a los encuentros con depredadores, por lo que el manejo de estas podría tener como resultado un mayor nivel de estrés.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer al Proyecto de Plan Nacional “Vida en la frontera: diferenciación poblacional de aves forestales al Sur del Paleártico” (CGL2017-85637-P), en el que se enmarcó parte del estudio de campo, por darme la oportunidad de formar parte del equipo apoyo y confiarme parte de los datos tomados en la Sierra de Madrid.

A mis tutores, José I. Aguirre e Irene Hernández por la oportunidad, las ideas, el apoyo... Gracias por confiar en mí una vez más. A Eva Banda por abrirme la puerta a los parques de Madrid. A todos los compañeros y amigos que han amenizado las jornadas de campo, especialmente a Mario. A mi familia.

Y por supuesto a Raúl, quien ha sido mi mayor apoyo durante todo este año, ha estado presente en cada jornada de campo y en cada palabra de este trabajo. Gracias por animarme, apoyarme y ayudarme a confiar en mí misma. ¡Y por el dibujo de la portada!

BIBLIOGRAFÍA

- Abolins-Abols, M., Hope, S.F. & Ketterson, E.D. (2016). *Effect of acute stressor on reproductive behavior differs between urban and rural birds*. *Ecology and Evolution*. 6: 6546-6555.
- Antonov, A. & Atanasova, D. (2003). *Small-scale differences in the breeding ecology of urban and rural magpies Pica pica*. *Ornis Fennica*. 80: 21-30.
- Aparicio, R.J. (2016). *Mirlo Común – Turdus merula*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. <http://www.vertebradosibericos.org>. Acceso 05/09/2019.
- Atiénzar, F., Álvarez, E. & Barba, E. (2016). *Carbonero común – Parus major*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. <http://www.vertebradosibericos.org>. Acceso 05/09/2019.
- Banbura, J., Skwarska, J., Banbura, M., Gladalski, M., Holysz, M., Kalinski, A., Markowski, M., Wawrzyniak, J. & Zielinski, P. (2013). *Spatial and temporal variation in heterophil-to-lymphocyte ratios of nestling passerine birds: comparison of blue tits and great tits*. *PLOS ONE* 8(9): e74226.
- Beaugeard, E., Brischoux, F., Henry, P.Y., Parenteau, C., Trouvé, C. & Angelier, F. (2019). *Does urbanization cause stress in wild birds during development? Insights from feather corticosterone levels in juvenile house sparrows (Passer domesticus)*. *Ecology and Evolution*. 9: 640-652.
- Bichet, C., Scheifler, R., Cœurdassier, M., Julliard, R., Sorci, G. & Loiseau, C. (2013). *Urbanization, Trace Metal Pollution, and Malaria Prevalence in the House Sparrow*. *PLOS ONE*. 8(1): e53866.
- Boissy, A. (1995). *Fear and fearfulness in animals*. *Quarterly Review of Biology*, 70(2): 165-191.
- Clark, P., Boardman, W. & Raidal, S. (2009). *Atlas of clinical avian hematology*. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Clark, P. (2014). *Observed variation in the heterophil to lymphocyte ratio values of birds undergoing investigation of health status*. *Comparative Clinical Pathology*, 24(5): 1151-1157.

- Clegg, S.M. & Owens, I.P.F. (2002). *The 'island rule' in birds: medium body size and its ecological explanation*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 269: 1359-1365.
- Cuthill, I., Witter, M. & Clarke, L. (1992). *The function of bill-wiping*. Animal Behaviour. 43(1): 103-115.
- Delgado-V., C.A. & French, K. (2012). *Parasite–bird interactions in urban areas: Current evidence and emerging questions*. Landscape and Urban Planning. 105(1-2), 5-14.
- Evans, J., Boudreau, K. & Hyman, J. (2010). *Behavioural syndromes in urban and rural populations of song sparrows*. Ethology. 116: 588-595.
- Evans, K.L., Gaston, K.J., Frantz, A.C., Simeoni, M., Sharp, S.P., McGowan, A., Dawson, D.A., Walasz, K., Partecke, J., Burke, T. & Hatchwell, B.J. (2009a): *Independent colonization of multiple urban centers by a former forest specialist bird species*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 282: 2403-2410.
- Evans, K.L., Gaston, K.J., Sharp, S.P., McGowan, A., Simeoni, M. & Hatchwell, B.J. (2009b). *Effects of urbanisation on disease prevalence and age structure in blackbird Turdus merula populations*. Oikos. 118(5): 774-782.
- Fokidis, H.B., Greiner, E.C. & Deviche, P. (2008). *Interspecific variation in avian blood parasites and haematology associated with urbanization in a desert habitat*. Journal of Avian Biology. 39(3): 300-310.
- García-Antón, A. (2013). *Gorrión de campo y gorrión de ciudad: el ambiente como modelador fenotípico de las especies. El caso del gorrión común Passer domesticus en el centro de España*. Trabajo Fin de Máster. Universidad Autónoma de Madrid y Universidad Complutense de Madrid.
- Gaston, K.J., Bennie, J., Davies, T.W. & Hopkins, J. (2013). *The ecological impacts of nighttime light pollution: A mechanistic appraisal*. Biological Reviews. 88: 912-927.
- Geue, D. & Partecke, J. (2008). *Reduced parasite infestation in urban Eurasian blackbirds (Turdus merula): a factor favoring urbanization?* Canadian Journal of Zoology. 86(12): 1419-1425.

- Gładalski, M., Bańbura, M., Kaliński, A., Markowski, M., Skwarska, J., Wawrzyniak, J., Zieliński, P., Cyżewska, I., Mańkowska, D. & Bańbura, J. (2016). *Effects of human-related disturbance on breeding success of urban and non-urban blue tits (Cyanistes caeruleus)*. Urban Ecosystems. 19(3): 1325-1334.
- Gross, W.B. & Siegel, H.S. (1983). *Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens*. Avian Diseases. 27(4): 972-979.
- Hinsley, S.A., Hill, R.A., Bellamy, P.E., Harrison, N.M., Speakman, J.R., Wilson, A.K. & Ferns, P.N. (2008). *Effects of structural and functional habitat gaps on breeding woodland birds: working harder for less*. Landscape Ecology. 23: 615-626.
- Hoagland, H. (1928). *On the mechanism of tonic immobility in vertebrates*. Journal of General Physiology. 11: 715-741.
- Isaksson, C. (2018). *Impact of urbanization on birds*. En: *Bird Species. Fascinating Life Sciences*. Springer, Cham.
- Jones, R.B. (1986). *The tonic immobility reaction of the domestic fowl: a review*. World's Poultry Science Journal. 42: 82-96.
- Krams, I.A., Vrublevska, J., Sepp, T., Abolins-Abols, M., Rantala, M.J., Mierauskas, P. & Krama, T. (2014). *Sex-specific associations between nest defence, exploration and breathing rate in breeding pied flycatchers*. Ethology. 120: 492-501.
- Lepczyk, C.A., Mertig, A.G. & Liu, J. (2004). *Landowners and cat predation across rural-to-urban landscapes*. Biological Conservation. 115(2): 191-201.
- Liang, D., He, C., Luo, X., Liu, Y., Goodale, E. & Pagani-Núñez, E. (2018). *Breath rate of passerines across an urbanization gradient supports the pace-of-life hypothesis and suggests diet-mediated responses to handling stress*. Ecology and Evolution. 8: 9526-9535.
- Liker, A., Papp, Z., Bókony, V. & Lendvai, Á.Z. (2008). *Lean birds in the city: body size and condition of house sparrows along the urbanization gradient*. Journal of Animal Ecology. 77(4): 789-795.
- McKinney, M.L. (2002). *Urbanization, biodiversity, and conservation*. Bioscience. 52: 883-890.

- McKinney, M.L. (2006). *Urbanization as a major cause of biotic homogenization*. *Biological Conservation*. 127(3): 247-260.
- Meillère, A., Brischoux, F., Parenteau, C. & Angelier, F. (2015). *Influence of urbanization on body size, condition, and physiology in an urban exploiter: a multi-component approach*. *PLOS ONE*. 10(8): e0135685.
- Merilä, J., Björklund, M. & Bennett, G.F. (1995). *Geographic and individual variation in haematozoan infections in the greenfinch, *Carduelis chloris**. *Canadian Journal of Zoology*. 73(10): 1798-1804.
- Merino, S., Moreno, J., Sanz, J.J. & Arriero, E. (2000). *Are avian blood parasites pathogenic in the wild? A medication experiment in blue tits (*Parus caeruleus*)*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 267(1461): 2507-2510.
- Minias, P. (2015). *Successful colonization of a novel urban environment is associated with an urban behavioural syndrome in a reed-nesting waterbird*. *Ethology*. 121(12): 1178-1190.
- Møller, A.P. (2009). *Successful city dwellers: a comparative study of the ecological characteristics of urban birds in the Western Palearctic*. *Oecologia*. 159(4): 849-858.
- Møller, A.P. & Ibáñez-Álamo, J.D. (2012). *Escape behaviour of birds provides evidence of predation being involved in urbanization*. *Animal Behaviour*. 84(2): 341-348.
- Norte, A.C., Sheldon, B.C., Sousa, J.P. & Ramos, J.A. (2009). *Environmental and genetic variation in body condition and blood profile of great tit *Parus major* nestlings*. *Journal of Avian Biology*. 40(2): 157-165.
- Nour, N., Currie, D., Matthysen, E., Van Damme, R. & Dhondt, A.A. (1998). *Effects of habitat fragmentation on provisioning rates, diet and breeding success in two species of tit (great tit and blue tit)*. *Oecologia*. 114: 522-530.
- Palomino, D. & Carrascal, L.M. (2006). *Urban influence on birds at a regional scale, A case study with the avifauna of northern Madrid province*. *Landscape Urban Planning*. 77: 276-290.

- Peig, J. & Green, A.J. (2009). *New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the scaled mass index as an alternative method*. *Oikos*. 118(12): 1883-1891.
- Pinilla, J. (2000). *Manual para el anillamiento científico de aves*. SEO/BirdLife, Madrid.
- Ruiz, G., Rosenmann, M., Novoa, F.F. & Sabat, P. (2002). *Hematological Parameters and Stress Index in Rufous-Collared Sparrows Dwelling in Urban Environments*. *The Condor*. 104(1): 162-166.
- Salvador, A. (2016). *Herrerillo común – Cyanistes caeruleus*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. <http://www.vertebradosibericos.org>. Acceso 05/09/2019.
- Scanes, C.G. (2016). *Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio*. *Poultry Science*. 95(9): 2208-2215.
- Senar, J.C., Garamszegi, L.Z., Tilgar, V., Biard, C., Moreno-Rueda, G., Salmón, P., Rivas, J.M., Sprau, P., Dingemans, N.J., Charmantier, A., Demeeyrier, V., Navalpotro, H. & Isaksson, C. (2017). *Urban great tits (Parus major) show higher distress calling and pecking rates than rural birds across Europe*. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 5(163): 1-10.
- Seress, G. & Liker, A. (2015). *Habitat urbanization and its effects on birds*. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*. 61: 373- 408.
- Shochat, E., Warren, P.S., Faeth, S.H., McIntyre, N.E. & Hope, D. (2006) *From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology*. *Trends in Ecology and Evolution*. 21: 186-191.
- Sims, V., Evans, K.L., Newson, S.E., Tratalos, J.A. & Gaston, K.J. (2007). *Avian assemblage structure and domestic cat densities in urban environments*. *Diversity and Distributions*. 14(2): 387-399.
- Slabbekoorn, H. (2013). *Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds*. *Animal Behaviour*. 85(5): 1089-1099.
- Sorace, A. & Gustin, M. (2009). *Distribution of generalist and specialist predators along urban gradients*. *Landscape and Urban Planning*. 90(3-4): 111-118.

- Svensson, L. (2009). *Guía para la identificación de los passeriformes europeos*. Sociedad Española de Ornitología, Madrid.
- Telleria, J.L. & Carbonell, R. (1999). *Morphometric variation of five iberian blackcap *Sylvia atricapilla* populations*. *Journal of Avian Biology*. 30(1): 63-71.
- Torné-Noguera, A., Pagani-Núñez, E. & Senar, J.C. (2014). *Great Tit (*Parus major*) breath rate in response to handling stress: urban and forest birds differ*. *Journal of Ornithology*. 155(1): 315-318.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs/Population Division (2018). *The World's Cities in 2018 (ST/ESA/SER.A/417)*.
- Vleck, C.M., Vertalino, N., Vleck, D. & Bucher, T.L. (2000). *Stress, corticosterone and heterophil to lymphocyte ratios in free-living Adélie Penguins*. *Condor*. 102: 392-400.
- Wang, S., Ni, Y., Guo, F., Fu, W., Grossmann, R. & Zhao, R. (2013). *Effect of corticosterone on growth and welfare of broiler chickens showing long or short tonic immobility*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 164(3): 537-543.
- Wiens, J.A. & Rotenberry, J.T. (1980). *Patterns of Morphology and Ecology in Grassland and Shrubsteppe Bird Populations*. *Ecological Monographs*. 50: 287-308.