

EFECTO DEL RUIDO, COBERTURA ARBÓREA Y HORA DEL DÍA SOBRE LA DETECTABILIDAD DE AVES EN ECOSISTEMAS URBANOS

JECAR RODRÍGUEZ-ARANCIBIA¹, MARTÍN A. H. ESCOBAR^{1*} & NÉLIDA R. VILLASEÑOR^{1,2}

¹ Grupo de Ecología, Naturaleza y Sociedad, Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, Santiago, 8820808, Chile

² Departamento de Ciencias Químicas y Biológicas, Universidad Bernardo O'Higgins, Av. Viel 1497, Santiago, Chile

*mescobar@renare.uchile.cl

RESUMEN. - En las evaluaciones de campo, las características del ambiente influyen en si un animal presente en un sitio es registrado o no por un observador. A pesar del creciente interés en el estudio de las aves en ecosistemas urbanos, el efecto de las variables ambientales sobre la probabilidad de detección ha sido escasamente explorado. Para proveer evidencia científica que contribuya a una adecuada caracterización de las aves en ambientes urbanos, evaluamos el efecto del ruido, la cobertura arbórea y la hora del día sobre la probabilidad de detección de aves en la ciudad de Santiago, Chile. En 35 sitios muestreamos cuatro puntos que variaron en los niveles de ruido ambiental. En cada punto registramos aves mediante estaciones de conteo utilizando un muestreo de distancias, medimos el ruido y los atributos del hábitat. Utilizamos el modelo jerárquico de Royle para modelar la probabilidad de detección de seis especies de aves: *Zenaida auriculata*, *Elaenia albiceps*, *Troglodytes aedon*, *Turdus falcklandii*, *Zonotrichia capensis* y *Passer domesticus*. El ruido exhibió un efecto negativo en la probabilidad de detección de *E. albiceps* y *P. domesticus*. La cobertura arbórea presentó un efecto negativo en la probabilidad de detección de *T. falcklandii* y *Z. auriculata*. La probabilidad de detección de *E. albiceps*, *P. domesticus* y *Z. auriculata* fue más alta en las primeras horas del día y disminuyó hacia el mediodía. Para las seis especies la probabilidad de detección fue muy baja a distancias sobre los 30 metros del observador, indicando que correcciones por detección imperfecta podrían ser necesarias cuando el área de muestreo involucra mayores distancias. Nuestros resultados evidencian que es necesario considerar el efecto especie-específico de las variables del ambiente que pueden afectar el registro de aves en ecosistemas urbanos.

PALABRAS CLAVE: *ambientes urbanos, muestreo por distancias, probabilidad de detección, ruido ambiental, Santiago de Chile*

ABSTRACT. - EFFECTS OF NOISE, TREE COVER, AND TIME OF THE DAY ON THE DETECTABILITY OF BIRDS IN URBAN ECOSYSTEMS. In field surveys, environmental variables influence whether an observer is able to record an animal present at a given site. Despite the growing interest in the study of birds in urban ecosystems, the effect of environmental variables on the probability of detection has been scarcely explored. To provide scientific evidence that contributes to an adequate assessment of birds in urban environments, we evaluated the effect of noise, tree cover, and time of the day on the probability of bird detection in the city of Santiago, Chile. At 35 sites, we sampled four points that varied in noise levels. At each point, we recorded birds using distance sampling and measured noise levels as well as habitat attributes. We used the N-mixture model to model detection probability for six bird species: *Zenaida auriculata*, *Elaenia albiceps*, *Troglodytes aedon*, *Turdus falcklandii*, *Zonotrichia capensis*, and *Passer domesticus*. Noise exhibited a negative effect on the probability of detection of *E. albiceps* and *P. domesticus*. Tree cover had a negative effect on the probability of detection of *T. falcklandii* and *Z. auriculata*. The probability of detection of *E. albiceps*, *P. domesticus* and *Z. auriculata* was higher early in the morning and decreased considerably toward noon. For all six species the probability of detection was very low at distances more than 30 meters from the observer, indicating that corrections for imperfect detection may be necessary when surveys involve greater distances. Our results showed that it is necessary to consider the species-specific effect of environmental variables, which can affect the detection of birds in urban ecosystems.

KEYWORDS: *distance sampling, noise, probability of detection, Santiago de Chile, urban ecosystems*

Recibido: 9 de junio de 2022; Aceptado: 20 de diciembre de 2022

Las aves son el grupo con mayor número de estudios en ecología urbana debido a que son fáciles de muestrear y pueden ser identificadas con facilidad por personal entrenado (Chávez 2014). Además, su abundancia y riqueza responden a las características del hábitat (Villegas y Garitano-Zavala 2008, Herrando et al. 2017, Muñoz-Pacheco y Villaseñor 2022).

Uno de los métodos más utilizados para la evaluación de aves son las estaciones de conteo (e.g. Camacho-Cervantes et al. 2018, Benito et al. 2019, Hensley et al. 2019), ya que proporcionan datos de la relación de las aves con su entorno, diversidad de especies y abundancia en el tiempo (Ralph et al. 1995, Matsuoka et al. 2014). El número de aves registradas en una es-

tación de conteo es el producto del tamaño de la población (N) y la probabilidad de detección (p), que corresponde a la probabilidad de que un ave tomada al azar dentro del área muestreada sea detectada por el observador (Farnsworth et al. 2005, k y Seddon 2017). No obstante, la mayoría de los estudios no consideran la probabilidad de detección dentro de sus análisis. Van Heezik y Seddon (2017) realizaron una revisión de artículos científicos desde 1991 hasta 2015 y como resultado obtuvieron que sólo el 11% de los trabajos incluyeron la estimación de la probabilidad de detección en el estudio.

Es importante reconocer que la probabilidad de detección de aves en las evaluaciones de campo es imperfecta, lo que puede generar sesgos en la estimación de la abundancia y diversidad de especies (Rae et al. 2015). El muestreo por distancia ("distance sampling") permite calcular la probabilidad de detección de las aves, estimar el efecto de las variables ambientales sobre la detectabilidad y sobre la abundancia de las especies (Royle et al. 2004, Buckland et al. 2005, Chandler 2017).

Diversos factores pueden influir sobre la probabilidad de detección de las aves, tales como la hora del día, la estructura del hábitat y el ruido. Por ejemplo, en aves detectadas mediante vocalizaciones, la probabilidad de detección es mayor en las primeras horas después del amanecer y disminuye a medida que los muestreos se acercan al mediodía (Tozer et al. 2016). La estructura del hábitat también influye en la probabilidad de detección de las aves, ya que doseles más densos disminuyen la capacidad de registrar visual o acústicamente a los individuos (Shieck 1997).

Por otro lado, la detección de aves disminuye con el aumento del ruido ambiente (Ortega 2012), ya que la mayoría de los datos obtenidos en las evaluaciones de campo comprenden registros auditivos (Faanes y Bystrack 1981, Statsny et al. 2019). Esto sería particularmente crítico en áreas urbanas, donde los evaluadores están expuestos a una mayor contaminación acústica producto del ruido ambiente (e.g. tráfico vehicular, construcciones, trenes urbanos, actividades recreativas, etc.), lo que posiblemente reduce la detectabilidad de las aves en la ciudad (Leston y Koper 2017).

En el presente estudio evaluamos la influencia del ruido, cobertura arbórea y hora del día sobre la detectabilidad de diferentes especies de aves en la ciudad de Santiago. Esta información permitirá generar re-

comendaciones para la evaluación de la avifauna en ambientes urbanos, tanto en el contexto de la investigación científica como en el desarrollo de iniciativas de ciencia ciudadana para el seguimiento y monitoreo de aves en ciudades.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Realizamos el estudio en la ciudad de Santiago, capital de Chile (Figura 1A). Santiago se ubica en la Región Metropolitana que corresponde a la región más pequeña del país (15 03,2 km²) y que concentra cerca del 40% de la población nacional (7 112 808 habitantes; Instituto Nacional de Estadística 2018). El clima es mediterráneo y se caracteriza por la pre-

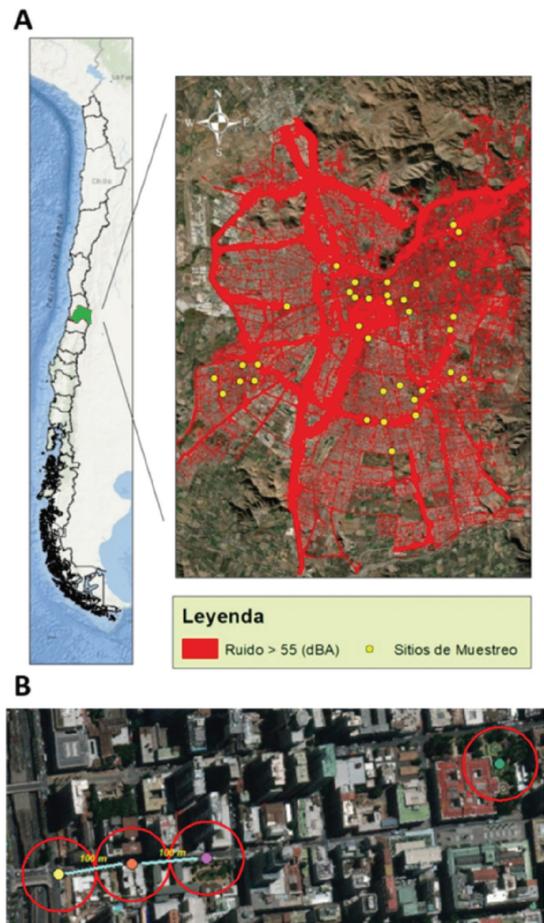


Figura 1. (A) Área de estudio y distribución de los sitios de muestreo en Santiago de Chile. (B) Ejemplo de localización de los puntos de muestreo donde se realizó la evaluación de aves y variables del hábitat. El primer punto corresponde a un sitio con un alto nivel de ruido en una avenida principal (amarillo). Luego, se evaluaron puntos a 100 m (naranja) y 200 m (lila) del punto en la avenida principal y otro en el espacio verde más cercano en la línea de desplazamiento (verde).

sencia de una estación estival seca prolongada y un invierno donde se concentran las precipitaciones. Santiago presenta 369.5 mm de agua caída promedio anualmente, la temperatura media anual es de 13.9°C, el mes más cálido corresponde a enero con una temperatura promedio de 22.1°C y el mes más frío es julio con una temperatura promedio de 7.7°C (Di Castri y Hayek 1976).

Diseño de Muestreo

Con base en un mapa de ruido de la ciudad Santiago generado con un modelo de predicción (RLS90; Instituto Acústica UACH 2016), identificamos áreas con alto nivel de ruido (> 55 decibeles) y luego seleccionamos aleatoriamente 35 sitios de muestreo (Figura 1A). En cada uno de estos sitios establecimos cuatro puntos de muestreo. El primer punto de muestreo se ubicó dentro del área con mayor nivel de ruido, casi siempre cercano a autopistas urbanas o avenidas principales. Los siguientes dos puntos de muestreo se ubicaron a 100 m y 200 m de distancia del primer punto, alejándose del sector con mayor nivel de ruido (Figura 1B). Para poder contrastar los datos de ruido y estructura del hábitat, ubicamos un cuarto punto de muestreo en el espacio verde (plaza o parque) más cercano al tercer punto de muestreo, siguiendo la misma dirección de alejamiento de la fuente de ruido principal (Figura 1B).

Evaluación de aves

Durante la temporada reproductiva (octubre-diciembre) de 2019, mediante estaciones de conteo circulares de 50 m de radio (Benito et al. 2019), registramos todas las aves detectadas (visualmente y auditivamente) durante 5 minutos en todos los puntos de muestreo de los 35 sitios de muestreo. Las evaluaciones se realizaron durante la mañana (7:00-12:00 am) y en días con condiciones atmosféricas adecuadas (sin lluvia). Para analizar si la probabilidad de detección de las diferentes especies de aves varía con la distancia al observador (Chandler 2017), en cada estación de conteo la distancia del individuo se registró en una de las siguientes categorías: 0-10 m, 10-20 m, 20-30 m, 30-40 m, 40-50 m y > 50 m (Buckland 1987). Todos los conteos de aves fueron realizados por el mismo observador (JRA).

Medición del ruido

Junto a la evaluación de las aves realizamos mediciones del ruido (en decibeles) en todos los puntos

de muestreo con un sonómetro digital marca Danu® (UT352- 2.5), instalado sobre un trípode a una altura de 1.5 metros (Platzer et al. 2007). La medición del ruido se realizó al mismo tiempo que el conteo de aves (de duración 5 min), en el inicio de los minutos 1, 2, 3, 4, y 5. Las mediciones las realizó una persona diferente a la encargada del conteo de aves para evitar distracciones. Con base en estas cinco mediciones calculamos el ruido promedio para cada punto de muestreo.

Caracterización del hábitat

En cada punto de muestreo se caracterizó el hábitat utilizando parcelas de 50 m y de 11 m de radio para describir el hábitat y microhábitat, respectivamente (Varela 2003, Benito et al. 2019). En las parcelas de 50 m estimamos el porcentaje de cobertura de vegetación leñosa mediante la interpretación de imágenes satelitales de alta resolución (WorldView, DigitalGlobe, en ArcGIS). Mientras que en las parcelas de 11 m se caracterizó el microhábitat en terreno a través de la estimación visual del porcentaje de cobertura del estrato herbáceo y arbóreo; además del porcentaje cubierto por superficies impermeables.

Análisis de datos

Antes del análisis estadístico se exploraron los datos. Para cada especie de ave se graficó un histograma con la frecuencia de registros y las distancias de detección. Para construir los modelos sólo se consideraron las especies de aves que fueron detectadas en al menos el 15% del total de puntos de muestreo (debido a que no se pudo acceder a dos puntos de muestreo el total es 138 puntos).

Para calcular la detectabilidad de las diferentes especies utilizamos el modelo jerárquico de Royle et al. (2004). Este método utiliza datos colectados con un muestreo de distancias registrados en intervalos de distancias discretos, permitiendo modelar la detectabilidad de una especie en función de la distancia, bajo el supuesto de que la probabilidad de detección de la especie depende de la distancia a la que se registra visual o auditivamente (Kery y Royle 2016). Como la detectabilidad puede variar entre los sitios debido a las características ambientales, este método además permite modelar el efecto de covariables del hábitat sobre la detectabilidad y la abundancia (Royle et al. 2004, Chandler et al. 2011). Por lo tanto, consta de dos ecuaciones, una que modela la abundancia usualmente con una distribución de Poisson y otra

que modela el proceso de detección como un multinomio (Chandler 2017).

Para cada especie de ave ajustamos un modelo jerárquico de Royle et al. (2004). Para evaluar la influencia del ruido, cobertura arbórea y hora del día sobre la detectabilidad, en el modelo ajustamos las siguientes covariables para la detección: el ruido, la cobertura arbórea en un radio de 11 m y la hora del conteo; y utilizamos la función de detección “half-normal” (Miller et al. 2019). Para modelar la abundancia se ajustó un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) con una distribución binomial negativa (Chandler 2017), donde las covariables fueron la cobertura de la vegetación leñosa, la cobertura herbácea y la cobertura de superficies impermeables, y el efecto aleatorio fue el sitio de muestreo. Si bien el modelo jerárquico de Royle et al. (2004) modela la probabilidad de detección y la abundancia, nuestro interés fundamental fue en el primero, por lo que los resultados sobre la abundancia se presentan sólo como Anexo (Anexo 1). El modelo basado en distancias fue ajustado utilizando el paquete estadístico “unmarked” (Fiske y Chandler 2011) y todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa R (R Core Team 2017).

RESULTADOS

Evaluación de aves

Registramos un total de 21 especies de aves, 17 nativas, tres exóticas y una de origen incierto (*Molothrus bonariensis*) (Tabla 1), y se observaron un total de 845 individuos. La media de la riqueza de especies por punto de muestreo fue de 3.5 ± 0.2 (media \pm error estándar), mientras que la de individuos fue de 6.2 ± 0.4 (media \pm error estándar) individuos por punto evaluado.

Nueve especies se registraron en al menos el 15% (21) de los puntos de muestreo y permitieron el análisis estadístico. Estas especies fueron: *Columba livia*, *Zenaida auriculata*, *Myiopsitta monachus*, *Elaenia albiceps*, *Troglodytes aedon*, *Turdus falcklandii*, *Zonotrichia capensis*, *Molothrus bonariensis* y *Passer domesticus*. Estas especies representaron sobre el 96% de los individuos registrados. La especie con mayor número de registros fue *Columba livia* con un total del 28,6% de las observaciones, seguida por *Passer domesticus* y *Turdus falcklandii* con 16 % y 13,8%, respectivamente. El resto de las especies presentaron valores de registro

Tabla 1. Lista de las 21 especies de aves detectadas en el estudio con el número de individuos promedio por conteo y error estándar (EE). (*) Indica especies que fueron detectadas fuera del punto de conteo. En negrita especies que se registraron en más de 21 puntos de conteo.

| Familia | Nombre Científico | Origen | N° de individuos | |
|---------------|-------------------------------------|-----------------|------------------|--------------|
| | | | Promedio | EE |
| Accipitridae | <i>Geranoaetus polyosoma</i> | Nativa | 0.014 | 0.014 |
| Charadriidae | <i>Vanellus chilensis</i> | Nativa | 0.022 | 0.012 |
| Laridae | <i>Larus dominicanus</i> | Nativa | 0.014 | 0.010 |
| Columbidae | <i>Columba livia</i> | Exótica | 2.500 | 0.423 |
| | <i>Columbina picui</i> | Nativa | 0.007 | 0.007 |
| | <i>Zenaida auriculata</i> | Nativa | 0.812 | 0.097 |
| Picidae | <i>Veniliornis lignarius</i> | Nativa | 0.036 | 0.019 |
| Falconidae | <i>Phalco boenus chimango</i> | Nativa | 0.159 | 0.040 |
| Psittacidae | <i>Myiopsitta monachus</i> | Exótica | 0.348 | 0.079 |
| Furnariidae | <i>Leptasthenura aegithaloides</i> | Nativa | 0.087 | 0.032 |
| Tyrannidae | <i>Elaenia albiceps</i> | Nativa | 0.384 | 0.179 |
| Cotingidae | <i>Phytotoma rara</i> | Nativa | 0.094 | 0.030 |
| Hirundinidae | <i>Tachycineta leucopyga</i> | Nativa | 0.086 | 0.035 |
| Troglodytidae | <i>Troglodytes aedon</i> | Nativa | 0.384 | 0.064 |
| Turdidae | <i>Turdus falcklandii</i> | Nativa | 1.203 | 0.131 |
| Passerellidae | <i>Zonotrichia capensis</i> | Nativa | 0.732 | 0.072 |
| Icteridae | <i>Curaeus curaeus</i> | Nativa | 0.115 | 0.046 |
| | <i>Molothrus bonariensis</i> | Incierta | 0.246 | 0.057 |
| | <i>Leistes loyca</i> | Nativa | * | * |
| Fringillidae | <i>Spinus barbatus</i> | Nativa | 0.043 | 0.043 |
| Passeridae | <i>Passer domesticus</i> | Exótica | 1.391 | 0.148 |

menores al 10% del total. No obstante, se excluyeron de los análisis a *Columba livia*, *Myiopsitta monachus* y *Molothrus bonariensis*, debido a que su conducta gregaria genera sesgos en la estimación de la probabilidad de detección en el análisis utilizado (Kery y Royle 2016).

Para las seis especies analizadas, los histogramas del número de individuos registrados en los diferentes intervalos de distancias muestran que el número de individuos registrados por el observador decrece a distancias mayores de 20-30 m (Figura 2).

Medición del Ruido

Los puntos de muestreo ubicados en grandes avenidas y autopistas presentaron el mayor valor

promedio de ruido ambiente que superó los 68 dBA. Luego registramos una disminución progresiva del nivel de ruido ambiente a través de los puntos de muestreo, a medida que se alejan del punto ubicado en la zona de mayor ruido. En promedio, el ruido fue más bajo en los espacios verdes (Tabla 2).

Caracterización del Hábitat

Las variables del hábitat presentaron un amplio rango de variación (Tabla 3). A escala del microhábitat (11 m) las superficies impermeables alcanzaron una cobertura promedio del 49.6%, seguido por vegetación herbácea (21%) y arbórea (11,3%) (Tabla 3). A nivel de hábitat (50 m), la cobertura de la vegetación leñosa alcanzó en promedio un 14,7 % (Tabla 3).

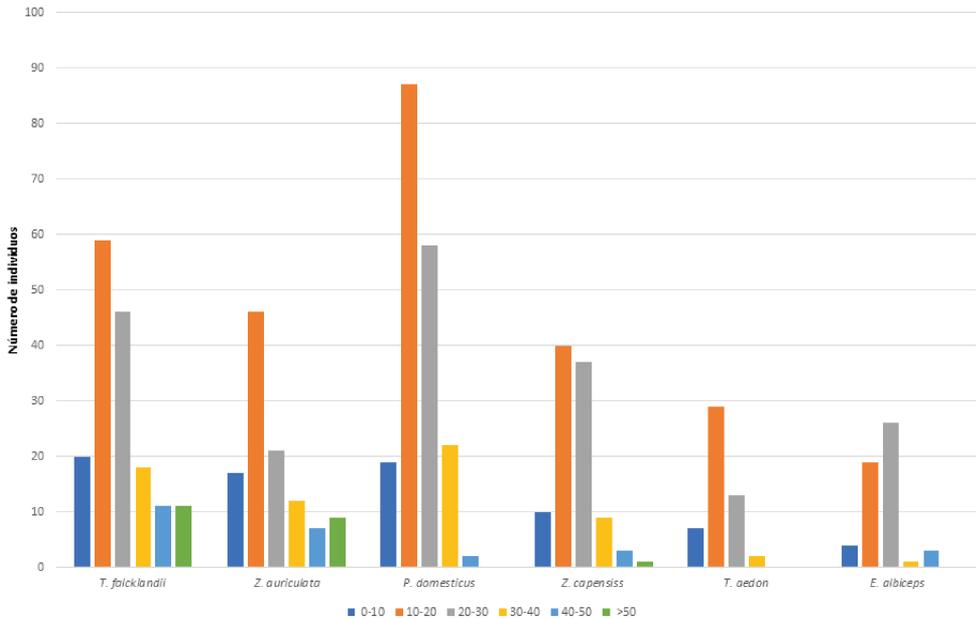


Figura 2. Histogramas del número de individuos registrados en los diferentes intervalos de distancias desde el observador en puntos de conteo para las seis aves modeladas. Cuando se utilizan puntos de conteo, el área evaluada incrementa de manera lineal con la distancia radial (Miller et al. 2019), por lo tanto, los registros de aves deberían aumentar en la misma forma si la detección fuera perfecta.

Tabla 2. Valor promedio y error estándar (EE) del ruido ambiente en los diferentes puntos evaluados en el área de estudio

| Puntos de conteo | Valor promedio del ruido ambiente (dBA) | EE |
|----------------------------|---|------|
| Avenida principal | 68.4 | 0.63 |
| 100 m de avenida principal | 57.50 | 1.21 |
| 200 m de avenida principal | 56.78 | 1.28 |
| Espacio verde | 54.62 | 0.95 |

Tabla 3. Porcentaje de cobertura de las variables del hábitat. Se reportan valores mínimos y máximos (mín-máx), promedio y error estándar (EE).

| Parcela | Variables del hábitat | Cobertura | | |
|---------------|-----------------------|-------------|--------------|-----|
| | | mín-máx (%) | Promedio (%) | EE |
| 11 m de radio | Arbórea | 0-80 | 11.3 | 1.3 |
| | Herbácea | 0-100 | 21.0 | 1.7 |
| | Impermeable | 0-90 | 49.6 | 2.2 |
| 50 m de radio | Leñosa | 1-60 | 14.7 | 0.9 |

Influencia de las variables ambientales sobre las aves

El ruido, la cobertura arbórea y la hora del día exhibieron efectos estadísticamente significativos sobre la detectabilidad de las aves (Tabla 4). Sin embargo, estos efectos variaron dependiendo de las especies evaluadas. El ruido tuvo un efecto estadísticamente significativo en la detectabilidad de *Passer domesticus*, *Elaenia albiceps* y *Zenaida auriculata*, pero para la primera y segunda especie el efecto fue negativo mientras que para la última fue positivo (Figura 3A). La cobertura arbórea tuvo un efecto negativo en la detectabilidad del *Turdus*

falcklandii y *Zenaida auriculata* (Figura 3B). La hora del día presentó un efecto negativo sobre la detectabilidad de *Passer domesticus*, *Elaenia albiceps* y *Zenaida auriculata* (Figura 3C), siendo menos probable detectarlas al acercarse al mediodía. En el caso de *Zonotrichia capensis* y *Troglodytes aedon* las variables evaluadas no presentaron efectos estadísticamente significativos sobre su detectabilidad (Tabla 4).

DISCUSIÓN

Nuestros resultados muestran que el ruido, la cobertura arbórea y la hora del día tienen efectos sobre

Tabla 4. Resultados del modelo para seis especies de aves. k = número de parámetros en el modelo, Hora-Ruido-Arbóreo = covariables modeladas para la detectabilidad. Significancia estadística: * = P < 0.05; ** = P < 0.01; *** = P < 0.001.

| Especie | k | Intercepto | Detectabilidad | | |
|-----------------------|---|------------|----------------|----------|---------|
| | | | Hora | Ruido | Arbóreo |
| <i>P. domesticus</i> | 6 | 2.68*** | -0.10** | -0.11*** | -0.06 |
| <i>Z. auriculata</i> | 6 | 2.78*** | -0.09** | 0.11** | -0.07* |
| <i>T. falcklandii</i> | 6 | 2.87*** | -0.05 | 0.02 | -0.06** |
| <i>Z. capensis</i> | 6 | 2.78*** | 0.03 | -0.02 | -0.05 |
| <i>T. aedon</i> | 6 | 2.55*** | 0.02 | 0.00 | -0.08 |
| <i>E. albiceps</i> | 6 | 2.91*** | -0.22*** | -0.30*** | -0.07 |

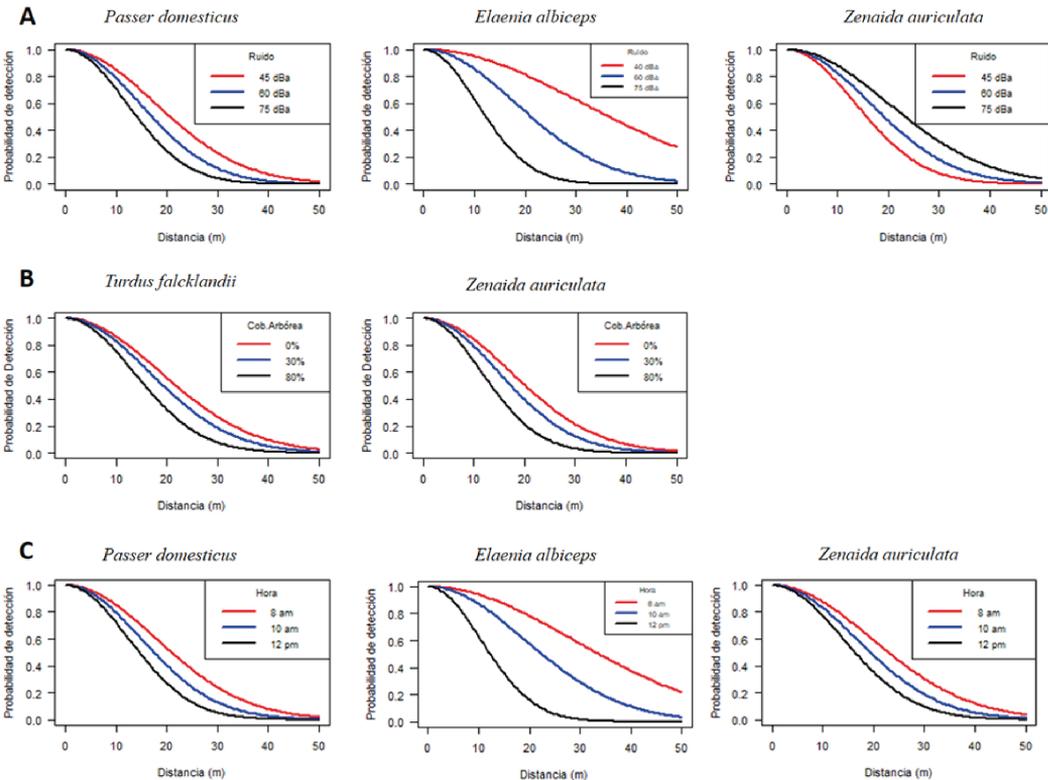


Figura 3. Curvas de detectabilidad para las especies de aves donde se registró un efecto estadísticamente significativo de las variables ambientales: (A) ruido; (B) cobertura arbórea; y (C) hora del día. Cada curva muestra la probabilidad de detección estimada para una especie de ave en función de la distancia del ave al observador según variables ambientales.

la detectabilidad de las aves, pero estos efectos son especie-específicos y dependen de las características de historia de vida de las especies. El ruido afectó negativamente la detectabilidad de *Passer domesticus*, especie exótica asociada a ambientes urbanos que en general es más abundante que las especies de aves nativas (MacGregor-Fors y Ortega-Álvarez 2011) y a *Elaenia albiceps*, migrante austral que visita el área de estudio durante la estación reproductiva (Capllonch et al. 2011). Ambas especies se detectan principalmente mediante su vocalización, por lo que el ruido afectaría negativamente su detección en ambientes urbanos.

El comportamiento vocal ocurre en muchas aves, pero en las passeriformes es donde el canto ha evolucionado en un mayor grado, siendo frecuentemente ocupado para la defensa de los territorios y en la reproducción (Brenowitz 1991). De manera que, en ambientes urbanos, las aves passeriformes serían más vulnerables a la disminución de su detectabilidad por el alto ruido ambiental (Crouch y Mason-Gamer 2019). Algunas especies de aves han modificado su canto para evitar el enmascaramiento de las señales acústicas a causa del ruido ambiental urbano (Slabbekoorn y Peet 2003, Slabbekoorn 2013). Por ejemplo, se ha reportado el aumento de la frecuencia mínima del canto (Arévalo 2019).

Si bien nuestros datos sólo muestran para este grupo de aves un efecto negativo sobre *Passer domesticus* y *Elaenia albiceps*, es probable que con un mayor esfuerzo de muestreo se podría detectar un efecto negativo en otras especies de aves cantoras; o posibles modificaciones del canto para superar el ruido ambiental.

Por otro lado, el ruido exhibió un efecto positivo en la detectabilidad de *Zenaida auriculata*. Esta especie se detecta principalmente de forma visual y no por sus vocalizaciones. Comúnmente se observa en el suelo buscando semillas (González-Acuña et al. 2017), de manera que con mayor visibilidad sería más probable detectarla. En nuestro estudio, los puntos con mayor nivel de ruido se ubicaron cercanos a autopistas urbanas o avenidas principales, que corresponden a áreas amplias y despejadas con mayor visibilidad que calles más angostas donde dominan las edificaciones. Además, el movimiento constante de vehículos y personas en estas áreas generó constantes vuelos cortos de *Zenaida auriculata* (obs. pers.). Estas condiciones aumentarían la probabilidad de observar a esta especie en el punto de

muestreo, condición que podrían explicar nuestro resultado.

Si bien la cobertura arbórea favorece la abundancia de varias especies de aves nativas en el ambiente urbano de la ciudad de Santiago (Villaseñor et al. 2021), ésta exhibió un efecto negativo en la detectabilidad de aves. Una mayor cobertura arbórea aumentaría el nivel de obstrucción visual entre el ave y el observador reduciendo las probabilidades de detección (Anderson et al. 2015). Por ejemplo, *Turdus falcklandii* y *Zenaida auriculata* forrajeaban frecuentemente en áreas abiertas cubiertas por plantas herbáceas o suelo desnudo (Morales 2015, González-Acuña et al. 2017) y son detectadas mayormente de forma visual, por tanto, la cobertura arbórea cercana al observador (11 m de radio) disminuiría su capacidad de detectar estas aves.

En ambientes urbanos la actividad de aves presenta un máximo cerca del amanecer (Swaddle et al. 2015). Este patrón que explicaría el efecto negativo de la hora del conteo en la detectabilidad de *Passer domesticus*, *Elaenia albiceps* y *Zenaida auriculata* en nuestro trabajo. Este efecto negativo sería particularmente importante en la ciudad, ya que a medida que avanzan las horas del día, la frecuencia de vocalizaciones disminuye más en ambientes urbanos que en zonas rurales (Bermúdez-Cuamatzin et al. 2020).

Implicancias para la evaluación de aves en ambientes urbanos

Nuestros resultados destacan la importancia de conocer los factores que influyen sobre la probabilidad de detección de múltiples especies de aves, ya que las variables ambientales pueden influir en el registro de las especies de diferentes formas. Además, nuestro estudio muestra que en ciudades, la probabilidad de detección de las especies es muy baja a distancias sobre los 30 metros del observador. Por lo tanto, si se desea comparar la abundancia de especies entre sitios en ambientes urbanos, se recomienda considerar correcciones por detectabilidad o utilizar estaciones de conteo con un radio pequeño (no mayor a 30 metros).

Finalmente, gran parte de los estudios de aves en ambientes urbanos tienen como objetivo recopilar datos de una gran cantidad de especies de aves en áreas extensas (Muñoz-Pacheco y Villaseñor 2022), empleando métodos apropiados para especies con una alta probabilidad de detección, pero ineficaces

para el monitoreo de especies con una baja probabilidad de detección o raras. Por lo tanto, es necesario comenzar a incorporar el uso de métodos de muestreo que sean especie-específicos o que consideren especies con baja probabilidad de detección como especies objetivo (Pacifi et al. 2008), para contribuir a una mejor comprensión de la ecología de las aves en ambientes urbanos.

CONCLUSIÓN

Nuestro estudio evidencia que el ruido, la cobertura arbórea y la hora del día tienen efectos sobre la detectabilidad de especies de aves en ambientes urbanos y estos efectos serían especie-específicos. Futuras investigaciones podrían involucrar estudios con un mayor esfuerzo de muestreo para evaluar el efecto de variables ambientales sobre la detección de otras especies de aves. Estas investigaciones permitirían elaborar protocolos para la evaluación y el monitoreo de diferentes especies de aves en la ciudad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a René Urquieta, Manuel Villalobos, Joaquín Fonca y Matías Carrasco, su colaboración durante el levantamiento de información en terreno y a Lucas Leveau y dos revisores anónimos por sus comentarios que, sin duda, mejoraron la calidad de nuestro trabajo. NRV agradece el financiamiento de ANID-FONDECYT 11201045.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ANDERSON AS, MARQUES TA, SHOO LP Y WILLIAMS SE (2015) Detectability in Audio-Visual Surveys of Tropical Rainforest Birds: The Influence of Species, Weather and Habitat Characteristics. *PLOS ONE* 10:1-24
- ARÉVALO JD (2019) Variación morfológica y del canto en poblaciones de *Zonotrichia capensis* (Aves: Emberizidae) de ambientes urbanos y silvestres en Chile Central. Tesis Magíster, Universidad de Chile, Santiago
- BENITO JF, ESCOBAR MAH Y VILLASEÑOR NR (2019) Conservación en la ciudad: ¿Cómo influye la estructura del hábitat sobre la abundancia de especies de aves en una metrópoli latinoamericana? *Gayana* 83:114-125
- BERMÚDEZ-CUAMATZIN E, DELAMORE Z, VERBEEK L, KREMER C Y SLABBEKOORN H (2020) Variation in Diurnal Patterns of Singing Activity Between Urban and Rural Great Tits. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8:246
- BRENOWITZ EA (1991) Evolution of the vocal control system in the avian brain. *The Neurosciences* 3:399-407
- BUCKLAND ST (1987) On the variable circular plot method of estimating animal density. *Biometrics* 43:363-384
- BUCKLAND ST, ANDERSON DR, BURNHAM KP Y LAAKE JL (2005) Distance Sampling en: Encyclopedia of Biostatistics. Segunda edición. USA
- CAMACHO-CERVANTES M, OJANGUREN AF Y MACGREGOR-FORS I (2018). Birds from the burgh: bird diversity and its relation with urban traits in a small town. *Journal of Urban Ecology* 4:1-7
- CAPLLONCH P, ALVAREZ ME Y BLENDINGER PG (2011) Sobre la migración de *Elaenia albiceps chilensis* (Aves: Tyrannidae) en Argentina. *Acta Zoológica Lilloana* 55:229-246
- CHANDLER RB (2017) Distance sampling analysis in unmarked. USGS Patuxent Wildlife Research Center, Maryland
- CHANDLER RB, ROYLE JA Y KING DI (2011) Inference about density and temporary emigration in unmarked populations. *Ecology* 92:1429-1435
- CHÁVEZ CA (2014) Relación entre la avifauna, la vegetación y las construcciones en plazas y parques de la ciudad de Valdivia. Tesis Ingeniero en Recursos Naturales, Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile
- CROUCH NMA Y MASON-GAMER RJ (2019) Identifying ecological drivers of interspecific variation in song complexity in songbirds (Passeriformes, Passeri). *Avian Biology* 50:114-118
- DI CASTRI F Y HAYEK ER (1976) Bioclimatología de Chile. Primera edición. Santiago
- FAANES CA Y BYSTRACK D (1981) The Role of Observer Bias in the North American Breeding Bird Survey. *Studies in Avian Ecology* 6:353-359
- FARNSWORTH GL, NICHOLS JD, SAUER JR, FANCY SG, POLLOCK KH, SHRINER SA, Y SIMONS TR (2005) Statistical Approaches to the Analysis of Point Count Data: A Little Extra Information Can Go a Long Way. USDA Forest Service Gen. 191:734-743
- FISKE IJ Y CHANDLER RB (2011) Unmarked: An R Package for Fitting Hierarchical Models of Wildlife Occurrence and Abundance. *Journal of Statistical Software*, 43:1-23
- GONZÁLEZ-ACUÑA D, RIQUELME P, CRUZATT J, LÓPEZ-SEPÚLVEDA P, FIGUEROA RA Y MORENO L (2017) Dieta estacional de la Tórtola (*Zenaida auriculata*) en la provincia de Ñuble, Chile. *Revista Chilena de Ornitología* 23:19-25
- HENSLEY CB, MADHUSUDAN K, TRISOS CH, WARREN PS, MACFARLAND J, BLUMENSHINE S Y EECHE J (2019) Effects of Urbanization on Native Bird Species in Three Sou-

- thwestern US Cities. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7:71
- HERRANDO S, BROTONS LL, ANTON M, FRANCH M, QUESADA J Y FERRER X (2017) Indicators of the Effects of the Urban: The Case of Barcelona. Pp. 449-463 in: Murgui & Hedblom. *Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments*, Barcelona
- INSTITUTO DE ACÚSTICA UACH (2016) Informe final: Estudio: Actualización del mapa de ruido del Gran Santiago. Universidad Austral de Chile, Valdivia
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2018) Síntesis de resultados Censo 2017, INE, Santiago
- KERY M Y ROYLE JA (2016) Applied hierarchical modeling in ecology: Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS. Volume 1. Primera edición. Academic Press, London
- LESTON LFV Y KOPER N (2017) Managing urban and rural rights of way as potential habitats for grassland birds. *Avian Conservation and Ecology* 12(2):4
- MACGREGOR-FORS I Y ORTEGA-ÁLVAREZ R (2011) Fading from the forest: Bird community shifts related to urban park site-specific and landscape traits. *Urban Forestry & Urban Greening* 10:239-246
- MATSUOKA SM, MAHON CL, HANDEL CM, SOLYMO S, BAYNE EM, FONTAINE PC Y RALPH CJ (2014) Reviving common standards in point-count surveys for broad inference across studies. *The Condor* 116:599-608
- MILLER DL, REXSTAD E, THOMAS L, MARSHALL L Y LAAKE JL (2019) Distance Sampling in R. *Journal of Statistical Software* 89:1-29
- MORALES FP (2015) Análisis de patrones de movilidad espacial de aves urbanas por medio del uso de telemetría. Tesis Geografía, Universidad de Chile, Santiago.
- MUÑOZ-PACHECO CB Y VILLASEÑOR NR (2022) Avian species richness in cities: A review of the Spanish-language literature from the Southern Cone of South America. *Urban Ecosystems* 25:601-616
- ORTEGA CP (2012) Effects of noise pollution on birds: A brief review of our knowledge. *Ornithological Monographs* 74:6-22
- PACIFI K, SIMONS TR Y POLLOCK KH (2008) Effects of Vegetation and Background Noise on the Detection Process in Auditory Avian Point-Count Surveys. *The Auk* 125:600-607
- PLATZER LM, INIGUEZ RC, CEVO JE Y AYALA FR (2007) Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. *Revista Otorrinolaringología y Cirugía De cabeza y Cuello* 67:122-128
- R CORE TEAM (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna
- RAE LF, WHITAKER DM Y WARKENTIN IG (2015) Variable effect of playback of chickadee mobbing calls on detection probability of boreal forest birds. *Journal of Field Ornithology* 86:51-64
- RALPH CJ, SAUER JR Y DROEGE S (1995) Monitoring Birds Population: By point counts. Department of Agriculture, Forest Service, Albany
- ROYLE JA, DAWSON DK Y BATES S (2004) Modeling abundance effects in distance sampling. *Ecology* 85:1591-1597
- SHIECK J (1997) Based Detection of Birds Vocalization Affect Comparisons of Bird Abundance Among Forested Habitats. *The Condor* 99:179-190
- SLABBEKOORN H (2013) Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. *Animal Behaviour* 85:1089-1099
- SLABBEKOORN H Y PEET M (2003) Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature* 424: 267-267
- STATSNY J, MUNK M Y JURANEK L (2019) Automatic bird species recognition based on birds vocalization. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing* 2018:19-26
- SWADDLE JP, FRANCIS CD, BARBER JR, COOPER CB, KYBA CCM, DOMINONI DM, SHANON G, ASCHEHOUG E, GOODWIN SE, KAWAHARA AY, LUTHER D, SPOELSTRA K, VOSS M Y LONGCORE T (2015) A framework to assess evolutionary responses to anthropogenic light and sound. *Trends in Ecology & Evolution* 2015:1-11
- TOZER DC, DRAKE KL Y FALCONER CM (2016) Modeling detection probability to improve marsh bird surveys in southern Canada and the Great Lakes states. *Avian Conservation and Ecology* 11:2-3
- VAN HEEZIK Y Y SEDDON PJ (2017) Counting Birds in Urban Areas: A Review of Methods for the Estimation of Abundance Pp 185-207 in: Murgui & Hedblom. *Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments*, Springer
- VARELA SI (2003) Calidad de la vegetación urbana como hábitat para aves. El caso de Santiago de Chile. Tesis Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Santiago
- VILLASEÑOR NR, ESCOBAR MAH Y HERNÁNDEZ HJ (2021) Can aggregated patterns of urban woody vegetation cover promote greater species diversity, richness and abundance of native birds? *Urban Forestry & Urban Greening* 61:102-111
- VILLEGAS MB 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