

ANEXO

Materiales y métodos

1.1. Área de estudio

Este estudio se desarrolló en el departamento de Cundinamarca, en la ciudad de Bogotá, capital de Colombia, la cual se encuentra ubicada a 2.600 msnm en la Cordillera Oriental de los Andes. La ciudad comprende un área total de 163.659 hectáreas (ha), de las cuales el 23,41% es urbana y el 75% rural, con una población total para el 2017 de 8 millones de personas. Sus características climáticas se dan por una temperatura media anual entre los 6 y 18°C y una precipitación de carácter bimodal, con las temporadas más lluviosas entre abril-mayo y septiembre-octubre y las secas en diciembre-febrero y julio-agosto (Jiménez et al. 2009; Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación internacional 2010). La ciudad está dividida en 20 localidades de las cuales el estudio se desarrolló en la localidad de Usaquén y Chapinero, ubicadas en el nororiente de la ciudad

La localidad de Usaquén cuenta con una extensión de 6.534 ha de las cuales 5.800 ha corresponden a suelo urbano y 2.716 a suelo rural, contando con una población urbana de 429.625 habitantes. Su temperatura promedio marca los 14°C y una porción de su superficie hace parte de la Reserva Oriental de los Cerros Orientales de Bogotá, contando con la presencia de una red de corrientes superficiales compuestas de más de 17 quebradas y dos canales. Dentro de las áreas urbanas, se encuentran alrededor de 276 áreas verdes y parques abarcando una superficie total de 481,71 ha, de los cuales los parques de bolsillo representan el 3% y ocupan un área de 874 m² (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2009; Secretaria Distrital de Planeación 2011).

Chapinero tiene una superficie total de 3.896 hectáreas contando con 1.316 ha de suelo urbano y 2.500 de áreas protegidas en suelo rural, una temperatura media anual de 14°C y una población de 122.991 habitantes. Esta localidad hace parte de la Reserva Forestal Protectora Bosque de Bogotá, los Cerros Orientales y cuenta con el canal Virrey y Arzobispo, los cuales constituyen parte del suelo de protección de la ciudad de Bogotá (Alcaldía Local de Chapinero 2008, 2012; Secretaria Distrital de Ambiente 2009).

1.2. Diseño del estudio

El estudio se realizó en dos ventanas de trabajo determinadas a partir de la presencia en ellas de Corredores Ecológicos de Ronda delimitados en la EEP de acuerdo al POT del 2004 y 2013. Estos correspondieron en la primera ventana al Corredor Ecológico de Ronda el Virrey (CV) y en la segunda al Corredor ecológico de Ronda Canal los Molinos (CM). Sin embargo, ambas ventanas se caracterizan por presentar la presencia predominante en su entorno de un tipo diferente de áreas verdes de soporte. Separadores lineales verdes para el primer caso y parques de bolsillo en la segunda (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2004, 2013).

Para la ventana del CM se seleccionaron siete parques de bolsillo de diferente tamaño (0,30-2,77 ha) escogidos al azar y con una distancia mínima de 250m entre ellos, esto con el fin de tener una independencia entre los datos. Igual ocurrió para la ventana del CV donde se seleccionaron siete separadores lineales verdes escogidos bajo las mismas condiciones empleadas para los parques de bolsillo.

1.3. Recolección de datos

1.3.1. Conteos de aves

Para caracterizar la comunidad de aves en cada uno de los elementos verdes seleccionados en cada ventana (corredores, separadores viales y parques de bolsillo), se realizaron 3 conteos durante los meses de marzo y abril del 2017 a lo largo de transectos con una distancia de 100m y usando una distancia máxima de observación de 50m (Ralph et al. 1996). En total se evaluaron 22 transectos, uno por cada parque de bolsillo y separador vial verde y cinco para cada corredor ecológico de ronda, manteniendo en todos los casos al menos 250m de distancia entre ellos, esto con el fin de tener una independencia entre los datos obtenidos en cada uno de ellos.

Los conteos de aves se desarrollaron caminando a velocidad constante a lo largo de cada transecto por un periodo entre 15 a 20 minutos. Se realizaron cuatro conteos por cada semana de 4 horas entre las 6:00 am y las 9:00am, al ser estas las horas de mayor actividad reportadas para las aves (Ralph et al. 1996; Álvarez et al. 2004). Igualmente, se alternó la hora de inicio de los conteos en cada transecto con el fin de equiparar el sesgo que puede producirse por la hora del muestreo. Adicionalmente, solo se tuvieron en cuenta aquellas especies que hacían uso directo de los espacios evaluados y se ignoraron aquellas que sobrevolaron el área.

Finalmente, en cada registro se anotó la especie y la cantidad de individuos observados, con el fin de obtener los datos necesarios para caracterizar patrones de riqueza y abundancia a nivel comunitario (total), de gremios ecológicos y de las especies *Turdus fuscater*, *Zenaida auriculata* y *Zonotrichia capensis* (Ralph et al. 1996; Álvarez et al. 2004; Paker et al. 2014). Para la clasificación de los gremios ecológicos, siendo aquellos grupos de especies que explotan la misma clase de recursos en un ambiente, se categorizaron las especies por su respuesta o sensibilidad ante los procesos de urbanización. Primero se encuentran las especies “explotadoras” caracterizadas por aprovechar o explotar los recursos brindados en los ambientes urbanos, alcanzando sus números más altos de densidades poblaciones en los hábitats con alto desarrollo urbano y no dependen de áreas naturales. Las “adaptables”, las cuales hacen uso de los recursos que se encuentran en estos ambientes, pero siguen dependiendo de áreas naturales para sobrevivir. Y finalmente, las “evitadoras” siendo aquellas con una alta sensibilidad a los cambios producidos por la urbanización y por tener requerimientos ecológicos específicos para sobrevivir, alcanzando altas densidades exclusivamente en los sitios más naturales dentro de las ciudades o áreas periurbanas (Lancaster and Rees 1979; Adams 1994; Blair 1996; McKinney 2002). Así mismo, se realizó una clasificación de ocurrencia espacial (transectos) y temporal (conteos).

1.3.2. Caracterización de variables a escala de paisaje y sitio

Se caracterizaron una serie de variables con el propósito de identificar los posibles atributos, que a escala de paisaje o de sitio, pudieran estar explicando la presencia de la avifauna registrada, y, por lo tanto, de los patrones de riqueza y abundancia encontrados en las áreas verdes evaluadas.

1.3.3. Variables a escala de paisaje

Las variables escogidas a escala de paisaje fueron el área de las áreas verdes y su distancia al corredor ecológico presente en la ventana de estudio. Esto siguiendo la teoría de biogeografía de islas de MacArthur y Wilson (1967) que predice que el número de especies encontrado en una isla (en este caso los parques de bolsillo y los separadores lineales verdes) está determinado por el tamaño de las islas y la distancia al continente (corredores).

Para tal fin, se midió la distancia en metros entre cada uno de los siete parques de bolsillo con respecto al CM y entre los siete separadores lineales verdes con respecto al CV, por medio del programa “Google Earth”. El mismo procedimiento fue realizado para medir las áreas de cada unidad de muestreo.

1.3.4. Variables a escala de sitio

A escala de sitio, se seleccionaron variables que describieran la estructura y composición de la vegetación, así como a la perturbación antrópica presente. Para el primer caso, en cada punto de conteo se evaluó mediante tres parcelas de tamaño variable la composición y estructura de la vegetación. En todos los casos cubriendo 25m², una medida sugerida para muestrear especies arbóreas (Mostacedo and Fredericksen 2000). Al interior de cada parcela se cuantificaron variables que permitieron caracterizar la vegetación leñosa (DAP>2cm) presente en los corredores ecológicos de ronda, parques de bolsillo y separadores viales verdes seleccionados. Para la composición se identificaron las especies encontradas en cada parcela, las cuales se clasificaron de acuerdo a su origen (nativa o exótica) y se estimó la diversidad total de la vegetación y la diversidad total de exóticas por medio del índice de diversidad de Shannon para cada tipo de área verde. La caracterización de la estructura se realizó a partir de la obtención de dos tipos de medidas: 1) la altura de cada individuo mediante el uso de una vara graduada de 3 metros dividida en 50cm, 1 metro y dos metros, y 2) el DAP (diámetro a la altura del pecho) para el cual se utilizó una cinta diamétrica, midiendo la circunferencia del tronco a una altura de 1,3m (Matteucci and Colma 1982; Mostacedo and Fredericksen 2000). Adicionalmente, se estimó la cobertura del dosel por medio del método “Línea transecto de sombra” (Ehrenfeld 1990), en donde se midió, realizando una cruz, la longitud que cubría la copa del individuo de punta a punta desde la rama más distante hasta la otra. Así mismo, se caracterizó la estratificación de la vegetación usando la vara graduada a partir de tres estratos: bajo (herbácea) (50-100 cm), medio (arbustiva) (100-200cm) y alto (arbóreo) (>200cm). Aquellos individuos que superaran las alturas establecidas en la vara graduada de 50-100 cm eran clasificados dentro de la cobertura arbustiva y los que superaran el estrato alto, eran considerados dentro del grupo de la vegetación arbórea.

Para el segundo caso, se midió el grado de la perturbación antrópica en cada área de estudio a través de tres variables que eran evaluadas al comenzar y finalizar cada conteo. La primera correspondió con el número de transeúntes cercanos al transecto, la segunda los decibeles de ruido por medio del uso de la aplicación digital “EasyMeasure” y la tercera el tráfico vehicular por medio del conteo de carros que circulaban en las calles circundantes a cada área evaluada.

1.4. Análisis de datos

1.4.1. Composición de especies

La riqueza de especies para cada punto evaluado se calculó a partir del número de especies totales registradas a lo largo de los tres conteos realizados. La abundancia fue estimada a partir del número promedio de registros obtenidos en los conteos. De igual manera, se estimaron la riqueza y abundancia para cada una de las categorías de sensibilidad a la urbanización mencionadas con anterioridad, así como la abundancia para cada una de las especies identificadas.

Se analizaron diferencias en la riqueza y abundancia total, por gremios y por especies entre los diferentes tipos de áreas verdes a partir del uso de Modelos lineales generalizados (GLM), usando como predictores los tres tipos de áreas verdes evaluadas en el estudio. Para realizar la prueba se asumió una distribución de Poisson al ser los datos obtenidos de carácter discreto ya que provienen de conteos (McCullagh & Nelder 1989; Ramirez 2007; López-González & Ruiz-Soler 2007). Se usaron como variables independientes el tipo de área verde evaluada (Corredores Ecológicos de Ronda, parques de bolsillo y separadores lineales verdes). Como variables dependientes se emplearon la riqueza y abundancia total y para los gremios de tolerancia a la urbanización, así como la abundancia de especies como *Turdus fuscater*, *Zenaida auriculata*, *Zonotrichia capensis*, *Columba livia* y *Molothrus bonariensis*. Para este análisis se usó el programa R (R Development Core Team 2015) bajo el paquete “lme4” (Bates et al. 2017). Los estimados de riqueza y abundancia totales, por gremio y para el grupo de especies, así como los intervalos de confianza al 95% fueron visualizados mediante el paquete “visreg” de R.

1.4.2. Curvas de acumulación de especies

Con el fin de establecer si el esfuerzo de muestreo logró representar la comunidad de aves presente en los sitios evaluados (Colwell and Coddington 1994; Jiménez-Valverde and Hortal 2003; Álvarez et al. 2004), se construyeron curvas de acumulación de especies en el programa de EstimateS 9.1.0 (Colwell 2009a). Esto para todos los sitios evaluados como para cada uno de los elementos analizados (corredores, parques de bolsillo y separadores viales). Para esto se emplearon dos estimadores no paramétricos, Chao1 y Chao2, siendo estos los más apropiados al permitir incorporar datos de abundancia (Chao1) y presencia-ausencia (Chao2).

1.4.3. Curvas de rango abundancia

Para analizar diferencias en la comunidad de aves de cada uno de los tipos de elementos evaluados, se realizaron curvas de rango-abundancia empleando una transformación logarítmica de las abundancia totales en los parques de bolsillo, corredores ecológicos de ronda y separadores viales verdes (Colwell 2009b).

1.4.4. Efecto de variables en la composición de especies

Con el fin de determinar la influencia de las variables de hábitat, perturbación humana y del paisaje en la presencia de la avifauna y sus patrones de abundancia y riqueza en los tipos de áreas verdes evaluadas, se utilizaron nuevamente modelos lineales generalizados (GLM), y un proceso de selección de modelos (Burnham and Anderson 2002). Para esto, se inició con la reducción de posibles variables predictoras por medio de una prueba de correlación, la cual se realizó entre todas las variables seleccionadas eliminando aquellas que obtuvieran un valor de correlación alto ($r > 0,7$). Una vez realizado el análisis se obtuvieron ocho variables; cuatro correspondientes al hábitat (cobertura, DAP, diversidad total de la vegetación y diversidad total de plantas exóticas), dos a escala del paisaje (distancia y área) y dos de perturbación urbana (número de transeúntes y ruido). Con base en esto, se construyeron 31 modelos plausibles con combinaciones que buscaron contrastar el efecto individual o grupal de las ocho variables. La evaluación de estos modelos se efectuó por medio del paquete “lme4” del programa R, bajo la distribución de Poisson, utilizando la función LOG como enlace. Finalmente, con el fin de identificar las variables que explicaban mejor la riqueza o abundancia en cada caso, se empleó el modelo más parsimonioso usando el criterio de información de Akaike (AIC) (Burnham and Anderson 2002). De esta manera, se obtuvo la información necesaria para poder establecer aquellos atributos que influyen los patrones de riqueza y abundancia en cada tipo de área verde urbana y así mismo, el tamaño de su efecto de las mismas.

1.4.5. Diversidad beta y anidamiento

Con el propósito de establecer si el aporte de las diferentes áreas verdes evaluadas era complementario o redundante, se estimó en primer lugar la diversidad beta entre los tres sitios. Esto con el fin de identificar el recambio de especies existente entre estos y determinar la redundancia entre las composiciones de las especies de cada sitio. La diversidad beta muestra el grado o proporción de cambio o reemplazo de la composición de especies encontradas a lo largo de un gradiente ambiental (Whittaker 1972; Álvarez et al. 2004). Ésta se estimó a partir del índice de complementariedad propuesto por Colwell y Coddington (1994), el cual permite medir el grado de disimilitud, estimando la magnitud del cambio entre comunidades de especies a partir del número de especies exclusivas para cada sitio y aquellas compartidas entre los mismos (Colwell and Coddington 1994; Moreno 2001; Álvarez et al. 2004).

Se requiere obtener dos medidas previas para poder obtener el valor de complementariedad (Colwell and Coddington 1994)

- 1) Se debe estimar la riqueza total de especies para ambos sitios compartidos

$$S_{AB} = a + b - c$$

a= número de especies en el sitio A

b= número de especies en el sitio B

c= número de especies en común o compartidas entre los sitios A y B

- 2) El número de especies únicas a cualquiera de los sitios

$$U_{AB} = a + b - 2c$$

A partir de estos valores se calcula la complementariedad de los dos sitios A y B

$$C_{AB} = \frac{U_{AB}}{S_{AB}}$$

Los valores de la complementariedad varían entre 0, cuando ambos sitios son idénticos, y 1, cuando las especies de ambos sitios son completamente distintas.

Finalmente, con el fin de aportar evidencia a la existencia de una complementariedad o redundancia entre las áreas verdes urbanas estudiadas en cuanto a la composición de especies, se implementó un análisis de anidamiento. Este consiste en establecer si las comunidades de especies presentes en un área con baja diversidad, representan un subconjunto (anidamiento perfecto) de aquellas áreas con alta diversidad de especies, o si existe una diversidad beta (complementariedad) entre las áreas (Almeida-Neto et al. 2008).

Bibliografía

- Adams LW (1994) Urban Wildlife Habitats. University of Minnesota Press, Minnesota
- Alcaldía Local de Chapinero (2008) Chapinero Informes GEO Locales. Bogotá D.C.
- Alcaldía Local de Chapinero (2012) PLAN AMBIENTAL LOCAL DE CHAPINERO 2013 - 2016. Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2009) Agenda ambiental localidad 1: Usaquén. Bogotá, Colombia
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2004) Decreto 190 de 2004, Artículo 1, numeral 14. Bogotá D.C., Colombia
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2013) Decreto 364 de 26 de Agosto. Plan de Ordenamiento Territorial POT 2013. Bogotá D.C., Colombia
- Almeida-Neto M, Guimarães P, Guimarães JPR, et al (2008) A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: Reconciling concept and measurement. *Oikos* 117:1227–1239. doi: 10.1111/j.0030-1299.2008.16644.x
- Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, et al (2004) Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt., Bogotá
- Bates D, Maechler M, Bolker B, et al (2017) lme4: linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package.
- Blair RB (1996) Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecol Appl*

- 6:506–519. doi: 10.2307/2269387
- Burnham KP, Anderson DR (2002) *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach* (2nd ed).
- Colwell R (2009a) EstimateS : Biodiversity Estimation. Diversity 1–23.
- Colwell RK (2009b) *Biodiversity: Concepts, Patterns, and Measurement*. *Princet Guid to Ecol* 257–263.
- Colwell RK, Coddington JA (1994) Estimating Terrestrial Biodiversity through Extrapolation.pdf. *Philos Trans Biol Sci* 345:17.
- Ehrenfeld JG (1990) *Measurements for Terrestrial Vegetation*.
- Jiménez-Valverde A, Hortal J (2003) Las Curvas De Acumulación De Especies Y La Necesidad De Evaluar La Calidad De Los Inventarios Biológicos. *Rev Ibérica Aracnol* 8:151–161. doi: 1576 - 9518
- Jiménez MJB, COHDAG, Zabala NCSTJ, AHLJC, Mayorga SMCSGR (2009) Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos. Bogotá D.C.
- Lancaster RK, Rees WE (1979) Bird communities and the structure of urban habitats. *Can J Zool* 57:2358–2368. doi: 10.1139/z79-307
- López-González E, Ruiz-Soler M (2007) Análisis de datos con el Modelo Lineal Generalizado. Una aplicación con R. 59–80.
- Matteucci S, Colma A (1982) *Metodología para el estudio de la vegetación*.
- McCullagh P, Nelder JA (1989) *Generalized Linear Models, Second Edition*. 532.
- McKinney ML (2002) Urbanization, Biodiversity, and Conservation. *Bioscience* 52:8.
- Moreno CE (2001) *Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, Vol 1*. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Zaragoza
- Mostacedo B, Fredericksen TS (2000) *Métodos Básicos de muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. BOLFOR, Santa Cruz de la Sierra
- Paker Y, Yom-Tov Y, Alon-Mozes T, Barnea A (2014) The effect of plant richness and urban garden structure on bird species richness, diversity and community structure. *Landsc Urban Plan* 122:186–195. doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.10.005
- R Development Core Team (2015) *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistica.
- Ralph CJ, Geupel GR, Pyle P, et al (1996) *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres Agradecimientos*. Director 46. doi: 10.3145/epi.2006.jan.15
- Secretaria Distrital de Ambiente (2009) *Agenda ambiental localidad 2: Chapinero*. Bogotá D.C.
- Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación internacional (2010) *Política para la Gestión de la conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital*. Panamericana, Bogotá, Colombia
- Secretaria Distrital de Planeación (2011) *Monografías de localidades: Usaquéen. Diagnóstico los Asp físicos, demográficos y socioeconómico* 1–190. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Whittaker ARH (1972) Evolution and Measurement of Species Diversity. *JSTOR* 21:213–251.