



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Factores ambientales relacionados con la presencia y abundancia de las aves de los humedales de la Sabana de Bogotá

Loreta Rosselli Sanmartín

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá, Colombia
2011

Factores ambientales relacionados con la presencia y abundancia de las aves de los humedales de la Sabana de Bogotá

Loreta Rosselli Sanmartín

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctora en Ciencias-Biología

Director:

Ph.D. F. Gary Stiles

Codirectora:

Ph.D. Olga Lucía Montenegro

Línea de Investigación:

Biodiversidad y Conservación

Grupo de Investigación:

Ornitología

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología

Bogotá, Colombia

2011

Agradecimientos

Desde hace más de 25 años el director de esta tesis, F. Gary Stiles, me contagió con su amor por las aves y su estudio. Sus enseñanzas, acompañamiento y guianza en todos estos años y en cada una de las etapas y detalles de este trabajo fueron fundamentales para su desarrollo y conclusión.

Olga Lucía Montenegro, mi codirectora, ha sido una guía muy importante a lo largo del doctorado a través de sus excelentes cursos, consejos y revisión de propuestas y manuscritos.

Sussy De La Zerda, Germán Galindo, Gabriel Guillot, Luis Miguel Renjifo, Orlando Rangel y los compañeros estudiantes de doctorado de la línea de biodiversidad y Conservación de la Universidad Nacional de Colombia contribuyeron al planteamiento y estructuración de este proyecto.

Agradezco la colaboración de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y a los propietarios, administradores y vecinos de los humedales de la Sabana de Bogotá por su ayuda y compañía, en particular Alejandro Paz, Anthony Phillips, Benedicto López, Camila Gómez, Ciro Hernández, Diego Vélez, Gladys de Matallana, Humberto Medellín, José Vicente Sánchez, Norma C. Gómez, Mariana Gómez, Salvatore Maldonado, Secretaría Distrital de Ambiente, Asociación de Propietarios de Meridor, Concesionaria Tibitoc S.A., DISNISSAN, Fundación ADESSA, Fundación ALMA, Fundación FIDHAP y la Fundación Humedal la Conejera. Sussy De La Zerda, Silvia Morales, Viviana Quiroga y Manuela Villaneda fueron compañía valiosa en el campo; Laura Agudelo, Pedro Camargo, Andrea Morales y Noemí Moreno de la Asociación Bogotana de Ornitología ayudaron con las observaciones de aves.

Agradezco a María Isabel Castro, John Donato y Alberto Ramírez por su apoyo continuo y orientación en la parte estadística.

Las enseñanzas y ayuda con SIG por parte de Fernando Remolina, Luis Guillermo Castro y Armando Sarmiento fueron cruciales para el desarrollo del trabajo.

El laboratorio de Diatomeas de la Universidad Nacional de Colombia amablemente me prestó la sonda multimétrica utilizada para las mediciones de las variables fisicoquímicas.

Este trabajo fue financiado parcialmente por la División de Investigación Bogotá (DIB) de la U. Nacional de Colombia (proyecto 8675) y obtuvo apoyo de la Asociación Bogotana de Ornitología y BirdLife International a través del proyecto "Conservación de las Aves Acuáticas y Migratorias de los Humedales de la Ciudad de Bogotá". Idea Wild donó parte de los equipos usados.

Agradezco también el apoyo de la U. Nacional de Colombia a través de la Dirección de Posgrado en Biología y los beneficios de Docencia Auxiliar (semestre I de 2007- Resolución 148 de 2007, semestre II de 2008- Resolución 584 de 2008) y las becas de la Facultad de Ciencias (Resoluciones 0040 de 2008 y 033 de 2009). La Facultad Ciencias me apoyó económicamente para asistir al I Congreso Nacional de Ciénagas y Lagunas de Colombia (Medellín, septiembre de 2008), el 25 Congreso Internacional de Ornitología (Campos do Jordao, Brasil, agosto de 2010) y el III Congreso Colombiano de Zoología (Medellín, noviembre de 2010).

Los jurados de este trabajo, Luis Germán Naranjo, María del Rosario Rojas y José Luis Tellería, hicieron valiosos aportes y comentarios al manuscrito.

Resumen

Con el uso de sistemas de información geográfica e imágenes remotas de alta resolución y observaciones de aves en 19 humedales de la Sabana de Bogotá, evalué la influencia de las características locales de hábitat y las de paisaje sobre la riqueza y composición de las comunidades aviarias del área y sobre la densidad y abundancia de siete especies particulares. Los humedales estuvieron cubiertos por una alta proporción de vegetación relacionada con la eutroficación (principalmente en humedales urbanos) o por espejos de agua predominantes con poca vegetación emergente (humedales rurales). Tanto la riqueza general de la avifauna como la abundancia de las especies estudiadas en detalle se relacionaron con el área del humedal; mientras que las densidades se relacionaron con factores particulares en cada especie. La avifauna acuática de la Sabana de Bogotá permanece gracias a la diversidad de coberturas y características de los humedales remanentes lo que requiere una estrategia regional de conservación.

Palabras clave: Sabana de Bogotá, humedales, conservación, aves, endemismo, especies amenazadas, Andes

Abstract

Using GIS and high definition remote images and bird observations in 19 wetlands, I evaluated the influence of landscape and local habitat characteristics on the richness and composition of bird communities in the area and in the density and abundance of seven particular species. Wetlands either had a high proportion of vegetation cover due to eutrophication (mostly in urban landscapes) or were mostly open water with less emergent vegetation (mostly rural landscapes). Both bird richness and abundance were related to wetland size while densities were related to varied factors particular to each species. Conservation of wetland birds in the Sabana de Bogotá is possible due to the differences in both vegetation covers and landscape characteristics in the remaining wetlands. This situation calls for a regional approximation to conservation.

Keywords: Sabana de Bogotá, wetlands, conservation, birds, endemic, endangered, Andes

Lista de Figuras

Figura I-1: Localización de los 19 humedales objeto de estudio en la Sabana de Bogotá..	9
Figura 1-1: Densidad (ind/ha) de <i>Molothrus bonariensis</i> en humedales con matriz rural (r), semiurbana (s) y urbana (u) en la Sabana de Bogotá.	33
Figura 1-2: Asociación de los chamonés a los diferentes tipos de plantas en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.	35
Figura 1-3: Porcentaje de individuos observados de <i>Molothrus bonariensis</i> en función de la altura de la percha (m) y de la altura total del árbol (m) en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.	36
Figura 1-4: Actividad de los individuos de <i>Molothrus bonariensis</i> (varios individuos vistos haciendo más de una cosa) registrados en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.....	36
Figura 1-5: Las especies con las que interactuaba <i>Molothrus bonariensis</i> en los 19 humedales de la Sabana de Bogotá entre julio y agosto de 2009.....	37
Figura 1-6: Relación entre la densidad (ind./ha) de <i>Chrysomus icterocephalus bogotensis</i> y de <i>Molothrus bonariensis</i> en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.	38
Figure 2-1. Temperature (a), conductivity (c) and total dissolved solids (c) in 19 Bogotá area wetlands.	52
Figure 2-2: Dissolved oxygen (a), oxygen saturation percentage (b) and ph in Bogotá area wetlands.	54
Figure 2-3: Dendogram obtained from a cluster analysis of the ph, conductivity and oxygen saturation percentage values of 19 Bogotá area wetlands.....	56
Figure 2-4: PCA plot showing the relative position of each sampling point of the nineteen wetlands and three physicochemical variables. %sat.ox: oxygen saturation percentage..	58
Figure 2-5: CCA plots showing the relationship between by-guild aquatic bird richness, total aquatic bird richness and the average values of three environmental variables (ph, conductivity and oxygen saturation percentage (% Sat.Ox)) in 19 Bogotá area wetlands (points). t.....	62

Figure 3-1: Results of cluster analysis of Sabana de Bogotá wetlands based on presence/absence data of 40 species of aquatic birds (a) and 75 species of terrestrial birds (b).....	87
Figure 3-2: Biplot of the first two axes of a redundancy analysis (rda) regressing guild data on principal components obtained from environmental data measured for 19 wetlands in the sabana de Bogotá, Colombia.	96
Figure 4-1: Biplot of the first two axes of a redundancy analysis (rda) regressing density data (a) and abundance (b) of 7 species of birds on principal components obtained from environmental data measured for 19 wetlands in the Sabana de Bogotá, Colombia.	121
Figure 4-2: Standardized Habitat Selection Index (y axis) for 7 species of wetland birds according to number of records of each species in each type of habitat and the total area of each habitat in 19 Sabana de Bogotá Wetlands.....	125

Lista de Tablas

Tabla I-1: Aves endémicas del altiplano cundiboyacense y estado de amenaza	2
Tabla I-2: Tipos de hábitat mapeados y cuantificados en los 19 humedales de la Sabana de Bogotá incluidos en este estudio.....	18
Tabla I-3: Coberturas mapeadas y cuantificadas en el área de 500m alrededor de los 19 humedales de la Sabana de Bogotá incluidos en este estudio.....	19
Tabla I-4: Aves incluidas en el estudio con categoría de endemismo, amenaza de extinción y hábitats preferidos para su forrajeo y anidación	20
Tabla 1-1: Humedales objeto de estudio con algunas de sus características.	28
Tabla 1-2: Densidad (con su respectivo error estándar) y tamaño de población (n) de <i>Molothrus bonariensis</i> estimados con el programa Distance para 19 humedales de la Sabana de Bogotá.	32
Tabla 1-3: Individuos vistos en cada humedal y y promedio de individuos de <i>M. bonariensis</i> vistos por punto en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.....	32

Tabla 1-4: Número de <i>Molothrus bonariensis</i> observados en contacto con diferentes especies de planta en los 19 humedales de la Sabana de Bogotá.....	34
Table 2-1: Area, Shannon Habitat Diversity Index (SDI), percentage of the surrounding matrix covered by manmade structures, open water percentage and number of sampling points included in the measurement of the physicochemical variables in each of the wetlands studied.	48
Table 2-2: Non parametric correlation matrix of six physicochemical variables and other characteristics of 19 Bogotá area wetlands.....	55
Table 2-3: Correlations between the physicochemical variables and the first three components extracted from a PCA conducted to assess the environmental heterogeneity in and between 19 Bogotá area wetlands.	56
Table 2-4: Aquatic bird species of each guild registered in nineteen bogotá area wetlands.. ..	58
Table 2-5: Total and by-guild aquatic bird species richness in 19 Bogotá area wetlands.	60
Table 3-1: Habitat types mapped and quantified in each of the 19 wetlands in the Sabana de Bogotá, Colombia	76
Table 3-2: Guilds in which we divided the aquatic birds observed in 19 wetlands of the Sabana de Bogotá, eastern Colombian Andes between 2009 and 2010.....	78
Table 3-3: Characteristics of 19 wetlands from the Sabana de Bogotá, eastern Colombian Andes based on satellite images dated 2007-2010.....	81
Table 3-4: Physical and chemical water properties ¹ , dog density ² and total Shiny Cowbirds ³ in 19 wetlands from the Sabana de Bogotá, Colombia, 2009-2010.	83
Table 3-5: Factor loadings for a principal components analysis of 28 environmental variables, measured at 19 wetlands on the Sabana de Bogotá.....	85
Table 3-6: Bird species heard or seen in 19 Sabana de Bogotá wetlands in three visits between July 2009 and March 2010, migration status and habits in the area.....	90
Table 4-1: Environmental characteristics of wetlands and the landscape surrounding mapped and quantified in 19 wetlands in the Sabana de Bogotá, Colombian Andes	110

Table 4-2: Focal bird species included in the study with degree of endemism, conservation status, and typical habitat where found	116
Table 4-3. Densities ind/ha and abundances of selected wetland bird species of the Sabana de Bogotá wetlands studied between July 2009 and March 2010	120
Table 4-4: Habitat models using Stepwise Linear Regression analyses for density and abundance of 7 bird species in 19 wetlands of the Sabana de Bogotá.....	123

Contenido

Resumen	i
Abstract	i
Lista de Figuras	ii
Lista de Tablas	iii
Introducción General.....	1
Humedales de Bogotá.....	1
Factores ambientales que influyen en las aves de los humedales	3
Objetivos.....	5
Preguntas de investigación	6
Hipótesis.....	6
Métodos Generales.....	7
Area de estudio.....	7
Medición de factores ambientales	16
Aves.....	20
Análisis	22
1.Capítulo 1. Abundancia del chamón <i>Molothrus bonariensis</i> (Icteridae) en 19 humedales de la Sabana de Bogotá (Colombia)	25
1.1 Resumen	25
1.2 Abstract	26
1.3 Introducción.....	26
1.4 Materiales y Métodos.....	28
1.4.1 Humedales	28
1.4.2 Muestreos.....	30
1.4.3 Análisis	30
1.5 Resultados	31
1.5.1 Estimación de abundancia.....	31
1.5.2 Asociación con vegetación	34
1.5.3 Actividad e interacción interespecífica	36
1.6 Discusión.....	38
1.6.1 Estimación de abundancia.....	38
1.6.2 Asociación con vegetación	40
1.6.3 Actividad.....	41
1.6.4 Interacción interespecífica	41
1.7 Agradecimientos.....	42
1.8 Literatura Citada	42

2.Capítulo 2. An assessment of water quality and its relationship to aquatic bird richness in a high Andean plateau of Colombia	45
2.1 Abstract	45
2.2 Introduction.....	46
2.3 Materials and methods	47
2.3.1 Study area	47
2.3.2 Physicochemical variables.....	48
2.3.3 Aquatic bird richness	49
2.3.4 Statistical and comparative analysis	49
2.4 Results	50
2.4.1 Physicochemical variables.....	50
2.4.2 Aquatic bird richness	58
2.4.3 Water quality relationship to aquatic bird richness	61
2.5 Discussion	62
2.5.1 Physicochemical variables.....	62
2.5.2 Water quality relationship to aquatic bird richness	65
2.6 Acknowledgements.....	66
2.7 References	67
3.Capítulo 3. Wetland habitats of the Sabana de Bogotá Andean Highland Plateau and their birds.....	73
3.1 Abstract	73
3.2 Introduction.....	74
3.3 Methods.....	75
3.3.1 Study area	75
3.3.2 Wetland and habitat characteristics	76
3.3.3 Bird communities	78
3.3.4 Data analysis	79
3.4 Results	79
3.4.1 Wetland and habitat characteristics	79
3.4.2 Bird Communities	86
3.5 Discussion	96
3.6 Acknowledgments.....	99
3.7 References	100
4.Capítulo 4. Local and landscape environmental factors are important for the conservation of endangered wetland birds in a high Andean plateau.....	107
4.1 Abstract	107
4.2 Introduction.....	108

4.3	Methods.....	109
4.3.1	Study area	109
4.3.2	Wetland Features	110
4.3.3	Birds	114
4.3.4	Data analysis	116
4.4	Results	117
4.4.1	Wetlands	117
4.4.2	Birds	118
4.5	Discussion	126
4.6	Acknowledgements.....	130
4.7	References	130
5.	Conclusiones y Recomendaciones	138
	Divulgación e impacto	140
	Recomendaciones	141
Anexo A.	Mapas de hábitats de 19 humedales de Bogotá	146
Anexo B.	Mapas de la matriz de paisaje de 19 humedales de la Sabana de Bogotá (ver descripción de coberturas en Introducción general).....	156
Anexo C.	Confirmación de aceptación de artículo en Ornitología Colombiana y de recepción en Aquatic Conservation y Waterbirds.....	166
Anexo D.	Certificados de dirección de tesis, constancia de elaboración de fichas para Segunda Edición de Libro Rojo de Aves de Colombia, certificados de asistencia a congresos	169
	Bibliografía.....	181

Introducción General

Humedales de Bogotá

Los humedales o “...áreas en transición entre sistemas terrestres y acuáticos en donde el nivel freático está en la superficie o cerca de ella o el terreno está cubierto por aguas someras...” (Cowardin et al. 1979) están presentes en todo el planeta sumando un área mayor a los 750 millones de hectáreas, la mayoría compuesta por turberas, pantanos y arrecifes de coral (Ramsar 2007). A pesar de constituir uno de los ecosistemas más importantes del planeta por sus funciones ecológicas, amortiguadoras de regímenes hídricos y su alta biodiversidad, los humedales están entre los más deteriorados con altas tasas de desaparición en todo el mundo (Mitsch y Gosselink 2000).

En Colombia, en donde se calcula que hay más de 20 millones de hectáreas de humedales (Minambiente 2001), su deterioro ha sido pronunciado y la tendencia hacia el futuro inmediato es la reducción inevitable de extensas zonas permanentes y estacionales, la gran mayoría fuera de cualquier figura de protección. Entre las regiones del país en que los humedales han sufrido un mayor deterioro está la del altiplano cundiboyacense, que incluye la Sabana de Bogotá, cuyos humedales constituyen un sistema aislado de otros grupos altoandinos desde hace miles de años en el Pleistoceno, cuando toda la Sabana era un gran lago (Rangel-Ch. 2003), lo que ha llevado a que sea el centro más importante de evolución de aves acuáticas de altura en el norte del continente y que tenga una alta proporción de taxones endémicos (Fjeldsa 1985). Aunque el hombre está presente en la Sabana de Bogotá desde hace unos 10.000 años, sólo hace 5.000 años empezó a transformar los humedales y en los últimos mil años el proceso de pérdida del espejo de agua se ha intensificado (Rangel-Ch. 2003) y más aún en el último siglo, lo que ha llevado a la pérdida del 97% del área original de los humedales y la reducción y extinción de poblaciones y especies (Andrade 1998, van der Hammen 2003).

Las aves son el único grupo de vertebrados que presenta una alta diversidad y un número apreciable de especies y subespecies endémicas y amenazadas en los humedales del área. Las aves además son “buenas indicadoras de la calidad del hábitat ya que integran múltiples influencias ambientales en un hábitat y responden rápidamente e cambios en el mismo” (Seigel et al. 2005). Unas 132 especies de aves han sido registradas en los humedales de la Sabana entre especies residentes permanentes y estacionales y especies periféricas (van der Hammen et al. 2008). Tres especies de aves acuáticas y cinco subespecies de especies más ampliamente distribuidas son endémicas a los humedales del altiplano. Tres de estos taxones ya están extintos y la mayoría de los otros está amenazada en algún grado (Tabla I-1).

Tabla I-1: Aves endémicas del altiplano cundiboyacense y estado de amenaza (Renjifo et al. 2002).

Taxón	Nombre común	Situación de conservación
<i>Podiceps andinus</i>	Zambullidor andino	Extinto
<i>Ixobrychus exilis bogotensis</i>	Garcilla dorada	Subespecie en peligro (ABO 2000)
<i>Anas georgica niceforoi</i>	Pato pico de oro	Extinto
<i>Rallus semiplumbeus</i>	Tingüa bogotana	En Peligro
<i>Gallinula melanops bogotensis</i>	Tingüa moteada	En peligro crítico
<i>Polystictus pectoralis bogotensis</i>	Tachurí	Extinto
<i>Cistothorus apolinari</i>	Cucarachero de los pantanos	En peligro
<i>Chrysomus icterocephalus bogotensis</i>	Monjita	Subespecie de baja preocupación

Factores ambientales que influyen en las aves de los humedales

Las aves son bastante específicas en cuanto a la selección de su hábitat; la evolución de esa preferencia determina su estructura y morfología y una escogencia adecuada afecta su potencial de supervivencia y reproducción (Cody 1985). Muchas aves aparentemente distinguen sus hábitats con base en las características estructurales (Terborgh 1977, Cody 1985) y la forma y estructura de la vegetación es más importante que las especies mismas que la componen (Orians 1969, Burger 1985, Froneman et al. 2001). Esta asociación es bien conocida en humedales en diferentes partes del mundo (Linz et al. 1997, Weller 1999, Rodríguez-Linares et al. 2004, López-Arévalo y Otálora 2005), lo cual no solo está ligado a la estructura de la vegetación que les da soporte y refugio sino también a los invertebrados que están asociados a la misma (Murkin et al. 1997, Voelz y McArthur 2000, Longcore et al. 2006); de hecho las aves de pantano están entre los grupos más estrictos en cuanto a su consistencia en el uso de hábitat” (Connors 1986).

Un creciente número de estudios en diversas regiones del planeta han identificado una serie de factores del hábitat que se relacionan con la presencia y distribución de las aves acuáticas. Entre las características físicas de los humedales, el área total es el factor que con más frecuencia se identifica como relacionado con la riqueza y abundancia de aves (Brown y Dinsmore 1986, Craig y Beal 1992, Froneman et al. 2001, Riffel et al. 2001, Benoit y Askins 2002, Oertli et al. 2002, DeLuca et al. 2004, Paracuellos y Tellería 2004, Paracuellos 2006, Tellería et al. 2006, Pearce et al. 2007, González-Gajardo et al. 2009, Ma et al. 2010) junto con la forma (relación área-perímetro) (Burger 1985, Murkin et al. 1997, Smart et al. 2006). Entre los factores relacionados con los diferentes tipos de cobertura están la diversidad de hábitats, la proporción y área de vegetación emergente (Lozano 1993, Murkin et al. 1997, Ritter y Savidge 1999, Morales-Rozo y De La Zerda 2004, Zerda et al. 2005, Loaiza-Gómez 2006, van der Hammen et al. 2008), la densidad de *Typha* sp. y de *Schoenoplectus californicus* (Burger 1985, Lozano 1993, Linz et al. 1997, Morales-Rozo y De La Zerda 2004, Morales-Rozo 2005, Loaiza-Gómez 2006), la vegetación flotante, las playas de barro (Murkin et al. 1997) y el espejo de agua (Burger 1985, VanRees-Siewert y Dinsmore 1996, Murkin et al. 1997, Fairbairn y Dinsmore 2001a, López-Arévalo y Otálora 2005, Loaiza-Gómez 2006). Otras variables exploradas incluyen las fluctuaciones de nivel de agua (Desgranges et al. 2006, González-Gajardo et al.

2009), la densidad de humedales en el paisaje (Brown y Dinsmore, 1986, Fairbairn y Dinsmore, 2001b), la calidad del agua y la cantidad de invertebrados (Horner 2001, Longcore et al. 2006).

Por otro lado la matriz (rural, urbana, agrícola) y la conectividad y aislamiento de los humedales también determinan de manera importante las aves que los habitan. Para algunos autores inclusive estos otros factores son más importantes que los hábitats mismos porque representan una fuente de comida (Burger 1985) o de disturbios que afectan negativamente las poblaciones, en particular en ambientes urbanos. Whited et al. (2000) y DeLuca et al. (2004) encontraron que la presencia de vías, construcciones y usos del suelo en un cinturón de 500 m alrededor de humedales afecta la presencia de aves mientras Findlay y Houlihan (1997) encontraron que el efecto llegaba hasta 2 km del humedal y también afectaba negativamente la riqueza de especies de anfibios y plantas. Varios estudios confirman además que con frecuencia las diferentes especies de aves tienen requerimientos individuales de hábitat de manera que algunas son más dependientes de factores locales de los humedales mientras que otras también dependen más de la composición del paisaje (Fairbairn and Dinsmore, 2001b; Naugle et al., 2001; Riffel et al., 2003; Shriver et al., 2004).

Esta diversidad de resultados hace que el estudio de los factores relacionados con la biota en los humedales de la Sabana de Bogotá tenga particular interés pues además de tratarse de una zona de importancia por sus características biogeográficas excepcionales, está a una elevación y latitud en la que no se ha explorado la posible influencia de una gama multiescala de factores (desde el paisaje hasta el microhábitat) que expliquen la composición de la avifauna remanente de esta región.

Además de las características mencionadas anteriormente, hay factores tensionantes como depredación, parasitismo y cacería que sin duda influyen en la presencia y abundancia de las aves de los humedales bogotanos. Los humedales de la Sabana de Bogotá, en especial los urbanos, tienen el problema de la constante presencia de perros que depredan aves y sus nidos (G. Galindo com.pers., Obs. pers.). El problema fue identificado como una de las principales amenazas en Jaboque por López-Arévalo y Otálora (2005). Por otro lado el ave de la familia Icteridae *Molothrus bonariensis* es cada vez más común en la sabana de Bogotá (ABO 2000) y pone sus huevos en nidos de otras aves disminuyendo su éxito reproductivo. Entre otras aves, parasita a *Chrysomus icterocephalus* y *Cistothorus apolinari* (Naranjo 1995, Velásquez-Tibatá et al. 2000). Esta

variable también fue identificada como una de las principales amenazas en Jaboque por López-Arévalo y Otálora (2005).

El conocimiento sobre los humedales de Bogotá y su biota ha aumentado considerablemente en las últimas décadas (p. ej. Rodríguez-Mahecha 2000, Calvachi 2003, Morales-Rozo y De La Zerda 2004, Zerda et al. 2005) en especial con estudios descriptivos de las comunidades florísticas que los componen y su historia paleoecológica (Hooghiemstra 1984, Wijninga et al. 1989, Chaparro 2003, Rangel-Ch. 2003, Hernández et al. 2005) y sobre aves. Los estudios de aves en general se concentran sólo en un humedal (Benítez-Castañeda 2004, López-Arévalo y Otálora 2005, Zerda et al. 2005, Osbahr y Gómez 2006, Macana 2007, Morales-Rozo et al. 2007), o en una sola especie (Lozano 1993, Pedraza 2001, Morales-Rozo y De la Zerda 2004, Rodríguez-Grisales 2007) o como resultado de análisis de información secundaria sin métodos de muestreo especificados (Rodríguez-Mahecha 2000, Calvachi 2003). Estos estudios han permitido llegar a una mejor aproximación al estado de amenaza de las poblaciones de las aves de los humedales (Renjifo et al. 2002) y su asociación con ciertos tipos de vegetación (Bernal y Calvachi 2004, Zerda et al. 2005, Van der Hammen et al. 2008) y otros atributos de los humedales. Sin embargo, no hay estudios cuantitativos y comparativos de las poblaciones remanentes de las aves de la Sabana para identificar sus requerimientos ecológicos clave tanto a nivel local como de paisaje.

Con base en estas consideraciones realicé este estudio con los siguientes objetivos.

Objetivos

General

Identificar y cuantificar las variables de humedales de la Sabana de Bogotá que se correlacionan con la presencia de aves en general y la abundancia un grupo selecto de especies de ave con miras a aportar elementos para su conservación.

Específicos

- Cuantificar variables identificadas como potencialmente importantes para las aves objeto de estudio en una serie variada de humedales, incluyendo la presencia de *Molothrus bonariensis* y su posible incidencia por parasitismo sobre otras aves (Capítulo 1) y algunos parámetros fisicoquímicos del agua (Capítulo 2).

- Examinar la presencia de las aves en una serie amplia de humedales de la Sabana de Bogotá
- Cuantificar la abundancia de siete especies de aves con diferentes características ecológicas en una serie representativa de los humedales de la Sabana de Bogotá.
- Analizar los efectos de las variables estudiadas sobre la presencia y abundancia de las especies de aves.

Preguntas de investigación

Las preguntas que pretendo responder son:

¿Cuáles son los factores ambientales que se relacionan con la riqueza y composición de las aves de los humedales de la Sabana de Bogotá? (Tratado en el Capítulo 3)

¿Cuáles son los factores ambientales claves para asegurar la presencia de cada una de las especies seleccionadas en un humedal? (Tratado en el Capítulo 4)

¿Cuál es la forma e importancia relativa en que operan los factores relacionados con el humedal como un todo y su entorno, vs. los de un tipo específico y preferido de vegetación? (Tratado en los Capítulos 3 y 4)

Hipótesis

De acuerdo a la información revisada y mis observaciones, mi hipótesis es que el tamaño del humedal y la diversidad y extensión de sus hábitats jugarán un papel importante en la riqueza de aves. En un ambiente tan afectado por la urbanización como el estudiado, la composición de la comunidad de las aves probablemente estará marcada por las características rurales o urbanas del paisaje para las terrestres y por las características de los humedales para las acuáticas.

En cuanto a las especies estudiadas en detalle, mi hipótesis es que cada una responderá de manera individual tanto a los factores a escala de paisaje que incluyen el humedal como un todo y su entorno, como los más específicos y relacionados con las coberturas vegetales. Probablemente la presencia y abundancia de las especies más amenazadas y que requieren de espejos de agua por sus hábitos nadadores (*Oxyura jamaicensis* y

Gallinula melanops) estarán determinadas en primera instancia por la extensión de espejos de agua y la calidad del agua en el caso de *G. melanops*, ya que su presencia ha disminuido desproporcionalmente con respecto a otras especies de rálidos en la región.

Fulica americana, aunque nadadora y zambullidora ocasional como las anteriores, está más asociada a ambientes urbanos en donde puede alcanzar altas densidades por lo que es probable que su presencia y abundancia esté asociada, además de a espejos de agua, a matrices urbanizadas.

Las dos especies endémicas (*Rallus semiplumbeus* y *Cistothorus apolinari*), asociadas a juncuales (*Schoenoplectus californicus*), seguramente mostrarán una relación con este hábitat y al área de los humedales dadas sus bajas poblaciones, en especial la de *C. apolinari* cuyas números han venido disminuyendo y los remanentes probablemente sólo permanecen en humedales grandes en donde queden rezagos de sus poblaciones.

Chrysomus icterocephalus también está asociada a juncuales pero es una especie más abundante que las anteriores, por lo que espero que su abundancia no sea dependiente del área de los humedales pero si del área de juncal. Ya que esta especie y *C. apolinari* son hospederas del parásito de cría *Molothrus bonariensis* espero una relación negativa con la presencia de especie.

Gallinula chloropus es una especie que está asociada a ambientes urbanos y vegetación emergente por lo que espero que su presencia y abundancia esté asociada con la variable de urbanización en el paisaje circundante, la proporción de vegetación emergente en los humedales y una baja calidad de agua, variable relacionada con la urbanización y la cantidad de vegetación emergente.

Métodos Generales

Area de estudio

El área de estudio del proyecto es la Sabana de Bogotá, una altiplanicie de aproximadamente 1200 km² con elevaciones entre 2550 y 2700 m en el departamento de Cundinamarca, Cordillera Oriental Colombiana (Guhl 1981). La Sabana es la parte sureña y más amplia del Altiplano Cundiboyacense (ABO 2000) y está delimitada naturalmente por la cuenca alta del río Bogotá que va desde el nacimiento del río en

Villapinzón (5°13'N, 73°35'O) hasta el Salto de Tequendama (4°36'N, 74°20'O). La Sabana está enmarcada por la altiplanicie de Ubaté por el norte, el macizo del páramo de Sumapaz por el sur, los cerros al oriente de Bogotá que separan las aguas con los llanos orientales por el este y las cimas de las montañas al occidente de Facatativá y Subachoque por el oeste (Carrera et al. 1980, Guhl 1981).

En el área descrita escogí 19 humedales para el estudio, desde la laguna de Tibitoc (4°58'N, 73°58'O) al norte hasta el humedal de Neuta (4°34'N; 74°13'O) al sur y desde las gravilleras abandonadas del río Siecha (4°52'22"N, 73°53'22O) por el este hasta la laguna de la Herrera (4°41'N; 74°16') por el oeste. Esta región es relativamente plana e incluye en su mayor parte terrenos agrícolas atravesados por vías de diferentes magnitudes, pasa por el borde occidental de Bogotá incluyendo varios humedales distritales embebidos en zona urbana (Figura I-1).

estudio (Gravilleras del río Siecha) entre las isoyetas de 600 y 700 mm anuales (Gaviria y van der Hammen 1999). El régimen de lluvias es bimodal con dos períodos lluviosos en abril-mayo y octubre-noviembre y dos épocas secas en enero-marzo y junio-agosto.

Los 19 humedales seleccionados tienen características variadas en cuanto a tamaño (con límites entre 1 y 300ha), localización geográfica, matriz de paisaje en la que se encuentran, composición de coberturas vegetales y presencia de especies de aves objeto de estudio según observaciones preliminares (Figura I-1). Además de buscar una buena representación de características y subcuencas de la Sabana, incluí humedales que tuvieran un interés particular por las obras de recuperación que se hubiesen realizado en ellos (p. ej. Jaboque, La Conejera, Juan Amarillo), acciones de manejo (Sta. María del Lago), o amenazas a que estuvieran sujetos por desarrollo urbano inminente (La Conejera, Guaymaral, Neuta, Tibanica, Torca). Lo anterior para proveer herramientas que permitan ayudar a evaluar la efectividad de las medidas que busquen mantener o aumentar las poblaciones de aves o el efecto de obras que los deterioren.

Los humedales de la región se han visto afectados por acciones antrópicas desde hace por lo menos 5 mil años, hasta el punto que varios de ellos como el Gualí, Juan Amarillo, Jaboque, la Conejera probablemente son producto de la acción del hombre que convirtieron los valles de erosión en donde se encuentran en humedales con agua abierta permanente (van der Hammen 2003). De hecho, van der Hammen (2003) afirma que la laguna de la Herrera “es el único cuerpo importante natural de agua que queda en la zona”. Es decir, aunque dentro de la gama escogida de humedales hay unos más naturales y antiguos que otros, la línea entre naturalidad y artificial es difícil de trazar en ocasiones y aunque es un factor que con seguridad influye directa e indirectamente en las poblaciones de aves no será cuantificado directamente y espero que se refleje a través de las variables estudiadas.

Humedales estudiados

Ceuta-Luisiana. 4°45'32"N, 74°13'3"O. Con un área de 14.4 ha (las áreas corresponden al cuerpo de agua exclusivamente y fueron obtenidas en este estudio, ver detalles en Capítulo 3 y Anexo A) y localizado aledaño a cultivos de flores y la fincas ganaderas en el sector rural del Municipio de Funza, 4.5 km al norte del pueblo en donde forma parte de una serie de chucuas (“vallecillos de erosión” según van der Hammen 2003) asociadas a la parte alta del humedal de Gualí. Tiene una cobertura variada de vegetación incluyendo

enea, junco, vegetación emergente y flotante combinada con espejo de agua. Está rodeado por potreros y cultivos de flores. En una visita preliminar encontré un grupo variado de especies de aves.

La Colina. 4°44'43"N, 74°13'7"O. Este humedal de 10.5 ha localizado entre un criadero de caballos y un cultivo de flores, es parte de la misma serie de chucuas de Funza que el anterior. Tiene una cobertura variada de vegetación incluyendo enea, junco, vegetación emergente y flotante.

Humedal de la Conejera. 4°45'44"N, 74°6'19"O. Humedal de 21.9 ha localizado en el Distrito Capital al noroccidente de la ciudad, tiene una interesante historia de participación ciudadana en la que los vecinos y la Fundación Humedal de la Conejera han tenido un importante papel en la protección y recuperación del humedal desde comienzos de los 90 (Galindo 2003). El humedal tiene una ronda densamente arborizada en la porción sur que ha sido urbanizada aceleradamente en los últimos 10 años mientras que su costado norte colinda con una zona de uso agrícola. Tiene problemas de contaminación por las aguas negras que recibe de las urbanizaciones cercanas. La Fundación Humedal la Conejera ha adelantado acciones de restauración incluyendo mejora en la calidad del agua y diversificación de hábitats, en particular aumento del espejo de agua (Vargas 2003) lo cual han aumentado las aves acuáticas nadadoras como patos y zambullidores. Una amenaza que se cierne sobre la Conejera es la construcción de la Avenida Longitudinal de Occidente que lo atravesaría en su porción oriental y el proceso de urbanización actual en el extremo noroccidental con la construcción de viviendas.

Humedal de Córdoba. 4°42'10"N, 74°4'5"O. Localizado al norte de Bogotá, está dividido por grandes vías en tres fragmentos de características diferentes (Rodríguez-Mahecha 2000) y un área total de 14.7 ha. Tiene variada vegetación acuática que lo cubre casi en su totalidad y en las partes media y baja, una amplia ronda con numerosos árboles sembrados, algunos de gran porte lo cual genera una gran riqueza de aves terrestres aunque la avifauna acuática no es tan rica. La comunidad vecina tiene activa participación en su cuidado, manejo y observación de vida silvestre.

Gravillera del río Siecha. 4°52'23"N, 73°53'22"O. El valle del río Siecha (Municipio de Guasca al norte de Bogotá) ha sido explotado para la extracción de gravilla lo cual ha dejado una serie de depresiones de diversos tamaños. Estas se han llenado de aguas lluvias y de esorrentía de buena calidad y de vegetación acuática enraizada y flotante y

alojan especies de interés incluidas seis de las objeto de este estudio (Franco y Bravo 2005). La gravillera escogida (12.5 ha) puede considerarse una de las más importantes del complejo (Franco y Bravo 2005) y en donde se han observado por lo menos cinco de las especies de aves objeto de estudio.

Humedal de Gualí. 4°42'26"N, 74°10'54"O. Este humedal de 141 ha está localizado en el límite entre los municipios de Funza y Mosquera. Tiene diversas amenazas dentro de las cuales las principales son la fragmentación por vías, disminución de área por rellenos para desarrollo industrial, contaminación de aguas, cultivos de flores, especialmente del cartucho (*Zantedeschia aethiopica*) y la cacería (López-Lanús y Blanco 2005). La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), dentro de su programa de creación de áreas protegidas (Sistema Regional de Áreas protegidas -SIRAP), identificó al humedal de Gualí-Tres Esquinas como un área prioritaria de conservación por los bienes y servicios ambientales que presta tanto para la recreación como la educación ambiental, a la investigación científica, entre otros factores (López-Lanús y Blanco 2005). El área estudiada fue el sector más grande del humedal bordeado por áreas agrícolas e industriales, y aproximadamente 2km al oeste de la cabecera de la pista del aeropuerto militar. La vegetación predominante en este sector es el junco y se ha registrado la presencia de las especies amenazadas *Rallus semiplumbeus* (López-Lanús y Blanco 2005) y *Cistothorus apolinari* (obs. pers.), esta última bastante escasa ya en los humedales de la Sabana.

Humedal de Guaymaral. 4°48'11"N, 74°2'26"O. Este humedal Distrital localizado en el borde norte de la ciudad, en el pasado conformaba un solo cuerpo de agua con el humedal de Torca que fue dividido con la construcción de la autopista norte. Actualmente esta porción de 20 ha queda aledaño a un complejo comercial y de recreación de donde recibe las aguas servidas causando problemas de contaminación (Rodríguez-Mahecha 2000) aunque también incluye otras porciones en fincas al occidente de la autopista con mejor calidad de agua y poblaciones de *Gallinula melanops*, entre otros. La vegetación acuática cubre prácticamente todo el humedal e incluye juncales, vegetación flotante, tapete flotante y vegetación emergente (Rodríguez-Mahecha 2000). La profundización del canal de Torca por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado (EAAB) lo drenó parcialmente en el 2004 y se está viendo seriamente afectado por rellenos iniciados en el 2010 que alcanzan su ronda en el borde occidental.

Laguna de la Herrera. 4°41'40"N, 74°16'29"O. Esta laguna localizada en un enclave subxerofítico rural en el límite sudoccidental de la Sabana de Bogotá, 5 km al oeste de la población de Mosquera y sur de Madrid (Figura 1) representa el remanente más importante de los humedales de la Sabana (258 ha) con presencia de poblaciones de las aves endémicas incluidas en el estudio en un mosaico diverso de tipos de vegetación (Wijninga et al. 1989, van der Hammen 2003). La laguna presenta problemas de contaminación por las aguas negras de municipios vecinos y de sedimentación por causa de la cantidad de canteras en su borde occidental (Vásquez et al. 2006).

Humedal de Jaboque. 4°43'18"N, 74°8'21"O. Es uno de los más grandes del Distrito Capital con 108 ha. A pesar de haber sufrido grandes procesos de transformación que han resultado en su fragmentación, pérdida de área por rellenos y urbanización del área periférica, pérdida de espejo de agua, cambios en cobertura vegetal y contaminación (López-Arévalo y Otálora 2005), aún tiene especies endémicas y amenazadas como *Rallus semiplumbeus* y *Cistothorus apolinari* (Zerda et al. 2005) aunque es posible que esta última esté extinta (H. Benítez com. pers.). Este ha sido uno de los humedales más estudiados (Rangel-Ch. y Parra 2005) y en el año 2007 la EAAB inició acciones de restauración encaminadas a mejorar la calidad y cantidad del agua de las diferentes secciones de Jaboque (PUJ-EAAB 2006).

Humedal de Juan Amarillo. 4°43'49"N, 74°6'34"O. Este humedal, localizado al noroccidente de Bogotá, es el más grande de la ciudad con 121 ha. Tiene una amplia gama de tipos de vegetación acuática que se refleja en una fauna diversa (Rodríguez-Mahecha et. al 2000). Juan Amarillo está dividido en tres sectores: el alto, que incluye el gran lago artificial construido por la EAAB entre 1999 y 2001; el medio, largo y angosto y fuertemente alterado por la construcción de camellones y canales de drenaje que han facilitado la invasión del humedal para pastoreo; y el sector bajo, que incluye el remanente del Lago Tibabuyes, con una perturbación relativamente menos fuerte. Este humedal tiene efectos nocivos por las aguas residuales domésticas (Rodríguez-Mahecha et. al 2000).

Finca la Laguna. 4°48'5"N, 74°9'45"O. Este es un humedal rural de área reducida (2.7 ha) asociado al río Chicú y forma parte de una cadena de cuerpos de agua del municipio de Tenjo. No hay estudios de sus aves aunque en una visita exploratoria se observó un buen conjunto de las especies objeto de estudio. El humedal está bordeado por potreros

con ganado y parcialmente cubierto por tapete de vegetación con dominancia de *Azolla filiculoides*.

Laguna Los Laureles. 4°48'43"N,74°10'4"O. Este humedal es muy cercano y perteneciente a la misma subcuenca y municipio que el anterior. Tiene una forma irregular y un área de 11.5 ha y está cubierto en gran parte con tapete de vegetación flotante dominado por *Azolla filiculoides* con algo de junco, macollas y vegetación emergente. El humedal está rodeado de potreros y bordeado de árboles; sus aves no han sido estudiadas, observaciones preliminares indican la presencia de varias especies de aves incluidas en el estudio.

Meridor. 4°50'57"N, 74°7'27"O. Este es un embalse de 7.6 ha y forma irregular con tres brazos alargados creado hace cerca de 60 años (Vélez 2004). Está ubicado en el borde oriental del valle de Tenjo (municipio de Tenjo). Rodeado por casas campestres y potreros, tiene predominancia de espejo de agua con juncas y variedad de vegetación emergente en los bordes. Observaciones preliminares han detectado la presencia de varias aves de interés incluyendo 5 de las consideradas en el estudio.

Humedal de Neuta. 4°34'38"N, 74°13'42"O. Con 18.5 ha y localizado en el área suburbana de Soacha al suroccidente de Bogotá, está recibiendo presión por la ampliación de infraestructura urbana e industrial para el desarrollo y en el momento entre 30 y 40% de sus alrededores han sido urbanizados pero con una amplia ronda entre las construcciones y el humedal (H. Medellín com. pers.). Este humedal alberga una buena diversidad de aves incluyendo por lo menos 6 de las 7 incluidas en este estudio (H. Benítez com. pers.). La vegetación es variada y hay varios espejos de agua. El Cabildo Verde de Soacha lleva varios años liderando acciones de conservación en el humedal.

Laguna del Salitre. 4°49'29"N, 73°56'15"O. Esta es una laguna artificial localizada en la intersección entre la carretera La Calera-Guasca y la vía que se desprende para Sopó (municipio de Guasca). Está rodeada por potreros y alledaña a un restaurante campestre. La mayor parte de su área de 3.56 ha es de espejo de agua. La incluyo por tener observaciones de F.G. Stiles de las poblaciones de aves de varios años en las que llama la atención la abundancia de tingüa moteada *Gallinula melanops* y otras especies asociadas a aguas abiertas.

Humedal de Santa María del Lago. 4°41'41"N, 74°5'39"O. Este humedal de 5.4 ha tiene la particularidad de que a diferencia de los otros humedales del Distrito, posee un amplio espejo de agua mantenido por acciones de dragado regular y remoción de vegetación acuática por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y la EAAB (Rodríguez-Mahecha 2000). La avifauna está empobrecida con representantes que frecuentan espejo de agua y otros que se refugian en los eneaes (*Typha latifolia*) (Rodríguez-Mahecha 2000).

Humedal de Tibanica. 4°36'11"N, 74°12'18"O. Ubicado al suroccidente del Distrito Capital en el límite entre Bosa y Soacha (Figura 1). Está fraccionado en dos secciones por una carretera angosta que suman 19 ha. Este humedal es de relevancia a nivel local y regional por ser uno de los que cuenta con la presencia de especies importantes para la conservación, en particular el cucarachero de los pantanos (*Cistothorus apolinari*) que tiene allí la mejor población en el Distrito Capital (Rodríguez-Mahecha 2000, Morales-Rozo y De La Zerda 2004, Castiblanco 2005).

Laguna o Pantano de Tibitoc. 4°58'42"N, 73°58'16"O. De 49 ha, ubicado en la municipio de Zipaquirá, actualmente es manejado como una laguna de post-tratamiento asociada a la planta de tratamiento de aguas Tibitoc. Está conectado con el río Bogotá y posiblemente tiene un origen natural aunque tiene un manejo artificial mediante diques y compuertas desde hace décadas. Tiene un variado mosaico de vegetación combinado con espejos de agua. Su avifauna ha sido poco estudiada aunque observaciones preliminares muestran abundantes poblaciones y presencia de especies de interés.

Humedal de Torca. 4°47'22"N, 74°2'21"O. Antiguamente era parte del humedal de Torca-Guaymaral dividido con la construcción de la autopista norte. Ahora esta porción queda al oriente y contigua a la autopista y está en alta degradación pues conforma una delgada franja altamente afectada por el pesado tráfico de la autopista a lo largo de su borde occidental y la casi eliminación de sus fuentes de agua por medidas de la EAAB dirigidas a eliminar las inundaciones de la autopista. Su reducida área está amenazada por la inminente ampliación de la autopista norte (Rodríguez-Mahecha 2000). El empobrecimiento se refleja también en las aves en donde según Rodríguez-Mahecha (2000) había cinco de las especies incluidas en el estudio pero probablemente este número esté reducido a dos y sólo las más resistentes a la alteración estén presentes pero prácticamente no hay observaciones y datos exclusivos y específicos de Torca.

Los detalles sobre los humedales se pueden consultar en los Capítulos 1, 2, 3 y 4 y los mapas de los hábitats y matrices de paisaje circundantes en los Anexos A y B.

Medición de factores ambientales

En cada uno de los humedales medí la composición de hábitats, las dimensiones (área, perímetro, índice de complejidad perimetral según la fórmula: largo del perímetro dividido por la circunferencia de un círculo con la misma área (Patton 1975; Paracuellos y Tellería 2004)), la matriz de paisaje circundante y la distancia desde el borde de cada humedal al borde del humedal más cercano con mínimo 1 ha (Gibbs 1993). Hice la caracterización de hábitats y paisaje de la mayoría de humedales usando imágenes de alta definición tomadas entre 2008 y 2010 y disponibles en Google Earth. Con una escala de trabajo de 1:2000 hice mapas de los hábitats en cada humedal (Anexo A), de la vegetación y otras coberturas en la ronda o faja de protección de 30 m declarada legalmente según el DAMA (2006) y de la matriz de paisaje de 500m que rodea cada humedal. No hubo imágenes Google Earth apropiadas para Guaymaral, por lo que usé una imagen Ikonos del 2007, Gravillera y Salitre para los que usé una imagen Landsat del 2007, y Tibitoc para el que usé fotografías aéreas de los años 90 y del 2008 facilitadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

Los hábitats identificados correspondieron a una clasificación estructural de la vegetación relacionada a su uso por parte de las aves con base en Weller (1999) y van der Hammen et al. (2008) con 11 tipos de hábitat (Tabla I-2). Corregí los mapas en campo mediante visitas a cada humedal. Calculé también el índice de diversidad de hábitats de Shannon que tiene en cuenta la cantidad y área relativa de los diferentes tipos de hábitat (Magurran 1988).

Calculé un índice de calidad de vegetación en la ronda de 30m alrededor de cada humedal dando valores a las coberturas existentes así: 0: sin vegetación, 1: vegetación baja (pasto, cultivos con árboles cubriendo hasta el 10% del área), 2: árboles dispersos cubriendo entre el 10 y el 50% del área, 3: matorrales, arboledas y bosque con una densidad mayor al 50% del área. Multipliqué cada valor por la proporción de la ronda cubierta por el tipo de vegetación correspondiente y luego sumé los productos de manera que el índice puede variar ente cero (sin vegetación en la ronda) hasta tres (vegetación arbórea cubriendo la ronda por completo). En la matriz circundante 500m alrededor de

cada humedal hice mapas y medí el área cubierta por diferentes tipos de cobertura (Tabla I-3, Anexo B).

Tabla I-2: Tipos de hábitat mapeados y cuantificados en los 19 humedales de la Sabana de Bogotá incluidos en este estudio (con base en van der Hammen et al. 2008 y Weller 1999). Los colores corresponden a los mapas de hábitat en el Anexo B.

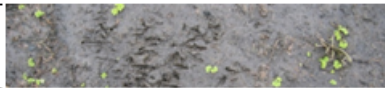


























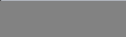


FOTO	NOMBRE	DESCRIPCION	ESPECIES TIPICAS	COLOR
	LODO	Barras de lodo o arena, fangos etc. Sin vegetación (a veces con pasto muy corto)	Ninguna	
	ESPEJO DE AGUA	Agua con superficie despejada y con variedad de profundidades y cantidades de vegetación sumergida.	<i>Potamogeton</i> sp., elodea o ninguna	
	VEGETACION TAPETE	Vegetación flotante que forma un tapete de no más de ca. 5 cm de alto que permite el paso de aves nadadoras, no les esconde ni soporta su peso	Helechito de agua (<i>Azolla</i> sp.), lenteja de agua (<i>Lemna</i> sp.), a veces buchón (<i>Limnobium</i> spp.)	
	VEGETACION FLOTANTE	Vegetación flotante que forma una masa densa de hasta 30 cm de alto, capaz de esconder o soportar el peso de un ave pequeña	Buchón (<i>Limnobium</i> spp., <i>Eichhornia crassipes</i>), <i>Ludwigia</i> sp., a veces botoncillo, sombrilla de agua	
	VEGETACION EMERGENTE	Macrófitas que crecen en agua panda o lodo y emergen para formar una capa densa de vegetación entre 15 y 50 cm de alto, suficiente para esconder el cuerpo de un ave.	Barbasco (<i>Polygonum</i> spp.), sombrilla de agua (<i>Hydrocotyle</i> sp.), lengua de vaca (<i>Rumex</i> sp.), botoncillo (<i>Bidens laevis</i>), a veces mezclado con pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>).	
	MACOLLA	Macollas (vástagos nacidos de la base de un mismo pie formando fascículos, Font-Quer 1979) bajas y compactas (hasta 1 m) con espacios entre ellas por debajo.	Junco de esteras (<i>Juncus effusus</i>), cortadera (<i>Carex</i> y <i>Cyperus</i> spp.), moradita (<i>Cuphea</i> sp.)	
	ENEA	Plantas hasta de 3m de alto, forma una masa sólida sin espacios entre tallos, sin macollas definidas	Enea (<i>Typha latifolia</i>)	
	JUNCO	Macollas gigantes de junco, hasta 4 m de altura, con espacios entre tallos y macollas, creciendo en agua u ocasionalmente con poca agua por debajo y mezclado con pasto o lengua de vaca (<i>Rumex</i>)	Junco (<i>Schoenoplectus californicus</i>), pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>), lengua de vaca (<i>Rumex</i> sp.)	
	ARBOLADO	Matorral de arbustos o árboles de diferentes portes naturales o sembrados que crece en los bordes del humedal o a veces dentro de él	Variado pero son comunes eucalipto (<i>Eucalyptus</i> sp.), chilcos (<i>Baccharis</i> spp.), sauces (<i>Salix humboldtiana</i>), acacias (<i>Acacia</i> spp.), jazmín del cabo (<i>Pittosporum</i>) o urapanes (<i>Fraxinus chinensis</i>)	
	PASTIZAL	Masas densas, a veces hasta de 1 m o más e invasivas de pasto kikuyo cerca de o traspasando el borde del humedal	Pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>)	
	INFRAESTRUCTURA	Agrupación de caminos, calles, edificaciones, andenes, etc. Todas las estructuras hechas por el hombre y carentes de vegetación.		

Tabla I- 3: Coberturas mapeadas y cuantificadas en el área de 500m alrededor de los 19 humedales de la Sabana de Bogotá incluidos en este estudio. Los colores corresponden a los mapas de matrices de paisaje en el Anexo B.

FOTO	NOMBRE	DESCRIPCION	ESPECIES TIPICAS	COLOR
	VEGETACION ARBOREA	Matorrales, cercas vivas, árboles aislados, arbustos leñosos	<i>Eucalyptus</i> , saucos (<i>Sambucus sp.</i>), chilcos (<i>Baccharis spp.</i>), sauces (<i>Salix humboldtiana</i>), acacias (<i>Acacia spp.</i>), jazmín del cabo (<i>Pittosporum</i>) o urapanes (<i>Fraxinus chinensis</i>) entre otros.	
	HÁBITATS ACUÁTICOS	Canales, humedales, estanques, ríos, quebradas	Barbasco (<i>Polygonum spp.</i>), Buchón (<i>Limnobium spp.</i> , <i>Eichhornia crassipes</i>), Helechito de agua (<i>Azolla sp.</i>), lenteja de agua (<i>Lemna sp.</i>),	
	INFRAESTRUCTURA	Agrupación de caminos, calles, edificaciones, andenes, etc. Todas las estructuras hechas por el hombre y carentes de vegetación		
	PASTIZALES Y CULTIVOS	Potreros y parques con kikuyo y cultivos bajos	Pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>)	

Además de los factores mencionados se midió la abundancia de perros, del ave parásita *Molothrus bonariensis* y algunos factores fisicoquímicos del agua mediante la realización de tres tesis de pregrado de la Universidad de los Andes (Calderón-Reyes 2008, Quiroga 2010 y Villaneda 2010). Los dos últimos temas se presentan como Capítulos 1 y 2 de esta tesis con la autorización de las coautoras (Anexo D).

Aves

Además de documentar la presencia de todas las especies de aves encontradas en los humedales seleccionados, obtuve datos de las poblaciones de un grupo de siete especies de aves. Seleccioné las siete especies con base en su grado de endemismo, amenaza (Tabla I-4), facilidad de detección e importancia para el Distrito Capital. Además de especies amenazadas y endémicas incluí a la tingüa de pico rojo, *Gallinula galeata* porque aunque no es escasa o amenazada, junto con la monjita (*Chrysomus icterocephalus bogotensis*) y la tingüa de pico amarillo (*Fulica americana columbiana*), es una de las pocas especies que se espera tengan poblaciones viables a largo plazo en la ciudad y por esto es importante conocer sus requerimientos de hábitat para asegurar su adecuado manejo.

Tabla I- 4: Aves incluidas en el estudio con categoría de endemismo, amenaza de extinción y hábitats preferidos para su forrajeo y anidación según van der Hammen et al. (2008).

Familia	Especie	Endemismo o taxón ₁	Amenaza Global/nacional ₂	Hábitats preferidos de forrajeo ₃	Hábitats preferidos de anidación ₃
Anatidae (patos)	<i>Oxyura jamaicensis andina</i>	c	LC/en	AA,TF,VF	JU,EN,VE, VH
Rallidae (tingüas)	<i>Rallus semiplumbeus</i>	E	EN/en	VF,MJ,JU,VE	JU,EN,MA, VE
Rallidae (tingüas)	<i>Gallinula galeata</i>	AD	LC/lc	VE,VF,JU,MA,EN	VF,JU
Rallidae (tingüas)	<i>Gallinula melanops bogotensis</i>	e	LC/cr	TF,VF,AA,VE	VF,VE,JU,EN
Rallidae (tingüas)	<i>Fulica americana columbiana</i>	c	LC/lc	AA,VE,VF	VE,VF,JU,EN
Troglodytidae (cucaracheros)	<i>Cistothorus apolinari</i>	E	EN/en	JU,EN,VE	JU,EN,CHT ?
Icteridae (toches, oropéndolas)	<i>Chrysomus icterocephalus bogotensis</i>	e	LC/??	VE,VF,JU,MJ,EN, OA	JU,EN,CHT

₁Endemismo: E: Especie endémica al altiplano cundiboyacense, especialmente de los humedales, e: Subespecie endémica al altiplano cundiboyacense, especialmente de los humedales, c: subespecie endémica a Colombia (también habita otras cordilleras o pisos altitudinales), AD: especie ampliamente distribuida

² Amenaza: (CR: críticamente amenazada, EN: en peligro de extinción, LC: de baja preocupación). Según Renjifo et al. 2002.

³ Descripción de Hábitats en Tabla I-2

Las aves escogidas representan un grupo variado de especies en cuanto a taxonomía (3 órdenes, 4 familias) y microhábitat específico pues prefieren diferentes tipos de vegetación o alturas dentro de la misma, otras aguas abiertas, otras playas lodosas (Tabla I-4).

Para los conteos de las 7 especies de aves focales del estudio usé el método de conteos desde puntos fijos de observación (Ralph et al. 1997) desde sitios con buena visibilidad escogidos a lo largo del borde de los humedales (Bibby et al. 2000) en las primeras horas de la mañana, con excepción de la Laguna de la Herrera en donde 3 de los puntos de observación estuvieron en el interior de la laguna a donde llegué en un bote de remo ya que por su tamaño y forma se dificultaba la observación desde el borde. En este tipo de muestreo el observador permanece quieto en un punto fijo durante un tiempo preestablecido (10 minutos en este estudio) anotando especie y abundancia de las aves objeto de estudio observadas u oídas y distancia al ave observada. Además del número de individuos detectados, el hábitat en donde se encontraron y notas sobre actividad reproductiva, sexo y edad cuando fue posible identificarlo, se anotó la distancia del observador al ave con ayuda de un medidor electrónico de distancia. Esto permite el uso del programa Distance (Thomas et al. 2010) para hacer cálculos de densidad que tienen en cuenta la detectabilidad de cada especie en diferentes hábitats (Bibby et al. 2000) y este fue el método de cálculo de poblaciones en la mayoría de los casos excepto cuando los datos fueron muy escasos para calcular densidades o el tamaño del humedal y la visibilidad permitieron hacer conteos directos confiables de las poblaciones. En otros casos los datos obtenidos con Distance resultaron poco realistas dada la heterogeneidad de hábitats por lo que ajustamos los cálculos según el tamaño del humedal, el área de cada hábitat y las observaciones de cada especie. Distance es útil pues permite el cálculo de densidades poblacionales con base en observaciones sin límite de distancia mediante la modelación de una curva de detección, particularmente en humedales en donde no se pueden hacer conteos completos. El cálculo correcto de poblaciones con este método se basa en varios supuestos incluyendo que los puntos de observación estén localizados al azar con respecto a la distribución de las aves; que los objetos se detecten en su localización inicial y no después de que hayan cambiado de localización y que las medidas de las distancias sean exactas (Thomas et al. 2010). Estas condiciones limitan el uso de Distance para situaciones como cálculos en humedales pero proveen datos

comparables para cada especie entre diferentes humedales proveyendo indicaciones sobre el tamaño de las poblaciones y permitiendo la exploración de las variables ambientales que influyen en sus variaciones.

Las observaciones desde los puntos fijos fueron complementadas con la reproducción de una grabación de los cantos de *Rallus semiplumbeus* y *Cistothorus apolinari*, aves tímidas y poco visibles (Manci y Rusch 1988). Este tipo de muestreo es similar al usado ampliamente en estudios semejantes (Brown y Dinsmore 1986, VanRees-Siewert y Dinsmore 1996, Naugle et al. 1999, Fairbairn y Dinsmore 2001a, b). El número de puntos usado en cada humedal dependió del tamaño del mismo (Fairbairn y Dinsmore 2001a) desde 2 en los humedales más pequeños (Finca La Laguna) hasta 11 en la laguna de La Herrera. Dejé una distancia entre puntos que evitara dentro de lo posible contar los mismos individuos más de una vez (Ralph et al. 1997, Bibby et al. 2000). Repetí los muestreos en cada humedal tres veces incluyendo época seca, lluviosa y de migración nortea (Julio-Agosto y Septiembre-October de 2009 y Febrero-Marzo de 2010).

Análisis

Después de hacer un análisis exploratorio de cada una de las variables cuantificadas, reduje el número de variables ambientales eliminando las que estaban altamente correlacionadas. Luego usé un análisis de componentes principales (PCA) sobre las variables remanentes para reducir aún más la cantidad de variables explicativas y simplificar la interpretación (Tabachnick y Fidell 2007). Este mismo tipo de análisis fue usado con los datos fisicoquímicos para evaluar la heterogeneidad ambiental dentro y entre humedales.

Usé análisis de redundancia (RDA) usando el programa CANOCO (Ter Braak, 1988) para examinar la relación tanto entre las densidades y abundancias de las especies focales como la de la riqueza de gremios de especies acuáticas con los factores ambientales. Hice análisis de regresión múltiple paso a paso para explorar qué factores ambientales explicaban mejor la riqueza de aves acuáticas y terrestres y la densidad y abundancia de cada una de las especies focales. Usé análisis clúster o de conglomerados para evaluar la relación entre humedales según la presencia de especies de aves acuáticas, terrestres y sus características fisicoquímicas.

Hice varias comparaciones entre las características de los humedales con análisis no paramétricos (U de Mann-Whitney, correlación de Spearman).

Calculé índices estandarizados de selección de hábitat (Krebs, 1999, Manly et al., 2004) para explorar la preferencia de las siete especies focales del estudio por los hábitats presentes en los humedales.

1. Capítulo 1. Abundancia del chamón *Molothrus bonariensis* (Icteridae) en 19 humedales de la Sabana de Bogotá (Colombia)

Manuela Villaneda-Rey¹

Loreta Rosselli²

¹ Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. manuvillaneda@hotmail.com

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. lrosselli@yahoo.com

Sometido a la revista Ornitología Colombiana, aceptado en octubre de 2011 (Anexo C)

1.1 Resumen

El chamón *Molothrus bonariensis* es un ave con hábitos parasitarios de cría y por lo tanto puede representar un peligro para la supervivencia de ciertas especies de aves amenazadas. Para evaluar este problema potencial para especies de humedal endémicas y amenazadas estimamos la abundancia de *Molothrus bonariensis*, estudiamos su asociación con la vegetación y sus interacciones interespecíficas en 19 humedales de la Sabana de Bogotá. Encontramos densidades entre 0 y 2.24 ind./ha que resultaron significativamente inferiores a las de *Chrysomus icterocephalus bogotensis*, una de sus víctimas de parasitismo en el área. Los humedales urbanos mostraron densidades más altas de chamonos que los semiurbanos y rurales agrupados. En cuanto a la vegetación, los chamonos mostraron una gran asociación con los árboles, especialmente los introducidos, los que tenían una talla entre 10.1 y 15 metros, estaban aislados de otros árboles y con un follaje medianamente denso. También con los juncales (*Schoenoplectus californicus*). Sólo 4.5% de los chamonos observados estaban interactuando con individuos de otras especies. Concluimos entonces que la situación de abundancia de *Molothrus bonariensis* aun no es tan alarmante para las especies víctimas de su

parasitismo con excepción de *Cistothorus apolinari*, la cual está en un estado tan precario que la presencia de aunque sea unos pocos chamonos puede ser desastrosa para su supervivencia.

Palabras clave: Chamón, conservación, humedales altoandinos, *Molothrus bonariensis*, parásito de cría.

1.2 Abstract

The Shiny Cowbird *Molothrus bonariensis* is a brood parasite and therefore could be a danger for the survival of some endangered birds. In order to evaluate this potential problem for threatened or endemic wetland species, we estimated the abundance of *Molothrus bonariensis* and studied its association with vegetation and its interspecific interactions in 19 wetlands located in the “Savannah of Bogotá”, Colombia. We found densities between 0 and 2.24 ind./ha which averaged significantly lower than those of *Chrysomus icterocephalus bogotensis*, a reported host species. The urban wetlands presented higher cowbird densities than the semiurban and rural wetlands together. The cowbirds showed a strong association with trees, especially those introduced, those between 10.1 and 15 m high, isolated from other trees and with medium foliage densities. Also with the *Schoenoplectus californicus* reed beds. Only 4.5% of the cowbirds we saw were interacting with individuals of other species. We conclude that the abundance of *Molothrus bonariensis* does not yet represent a serious threat for the species which are victims of its parasitism with the exception of *Cistothorus apolinari*, which is in a so precarious situation that the presence of only a few shiny cowbirds could be disastrous for its survival.

Key Words: Andean wetlands, brood parasite, Colombia, conservation, *Molothrus bonariensis*, Shiny Cowbird.

1.3 Introducción

La Sabana de Bogotá está ubicada a una altura de aproximadamente 2600 metros en la parte sur del Altiplano Cundiboyacence sobre la Cordillera Oriental de los Andes colombianos (Montañez et al. 1992). Estuvo cubierta por un inmenso lago durante cerca de tres millones de años durante el Cuaternario hasta hace aproximadamente 30.000 años cuando se secó casi en su totalidad, dejando lo que hoy conocemos como los

humedales de la Sabana de Bogotá (Hooghiemstra 1984, Van der Hammen 2003). Desde que los indígenas habitaron esta región comenzaron a modificarse las características ambientales de la Sabana de Bogotá. Sin embargo, el impacto que ha sufrido nunca fue tan fuerte como en el último siglo debido a la industrialización de la agricultura, la ganadería y al aumento exponencial de la población humana y por consiguiente a la urbanización (Montañez et al. 1992, Renjifo 1992, Andrade 1998, Van der Hammen 2003). Según datos de la ABO (2000) de las aproximadamente 50.000 hectáreas de humedales que había hace 100 años en esta zona, hoy en día el 97% han desaparecido. De tal manera, no es asombroso que estos ecosistemas estén entre los más amenazados del país (Hernández et al. 1992) y lo grave es que ninguno de ellos pertenece a un área de conservación y muy pocos de ellos reciben un manejo especializado por una entidad oficial del medio ambiente (Andrade 1998). Además, los pocos que hoy día aun sobreviven sufren de severos problemas de contaminación por aguas negras y de eutrofización (Van der Hammen 2003).

Aparte del impacto antropogénico, se ha identificado la presencia del ave parasitaria *Molothrus bonariensis* como una potencial amenaza para la conservación de algunos de los taxones de aves endémicas a Colombia y presentes en algunos humedales de la Sabana (Naranjo 1995, López Arévalo & Otálora 2005, Morales et al. 2007, L. Rosselli, datos no publ.). El parasitismo de cría ejercido por *M. bonariensis* está estrechamente relacionado con el éxito reproductivo de las especies hospedadoras y por lo tanto de su supervivencia (May & Robinson 1985, Pease & Grzybowski 1995, Kattan 1996, Massoni & Reboresda 1998, Trine et al. 1998) porque ponen sus huevos en los nidos de otras especies y los abandonan para que sean incubados por éstas. Como estas aves parasitarias no tienen que invertir energía para el cuidado parental, pueden invertir toda esta energía en producir nidadas más grandes de huevos, lo cual podría dar como resultado un aumento muy rápido de su población (Rueda-Cediel et al. 2008). Un ejemplo de ello es *Molothrus ater*, especie que aumentó su distribución y abundancia en Estados Unidos en poco tiempo (Robinson et al. 1995a), tan rápidamente que no les dio tiempo a las otras aves de desarrollar mecanismos antiparasitarios. Así, hoy en día *Molothrus ater* con su parasitismo se transformó en uno de los principales problemas para la sobrevivencia de las poblaciones de varias especies de aves migratorias americanas (Robinson et al. 1995b). Lo mismo sucedió con la expansión del mismo *Molothrus bonariensis* a través de las Antillas, poniendo en peligro a varias especies endémicas, notablemente *Agelaius xanthomus* en Puerto Rico (Cruz et al. 1985).

Desde hace varios años se ha documentado el parasitismo de *M. bonariensis* sobre el *Chrysomus icterocephalus* en el humedal de La Herrera, sur de la sabana de Bogotá (Naranjo 1995). Sin embargo, en años recientes se ha observado un aumento en las poblaciones del *M. bonariensis* hacia el norte de la sabana (conteos navideños de la ABO, ined.) y se ha registrado su parasitismo en los nidos de varias especies más, incluyendo a *Cistothorus apolinari* en el humedal La Conejera (Velásquez-Tibatá et al. 2000, Castro et al. 2007) y en los humedales del Valle de Ubaté (Renjifo et al. 2002, Morales et al. 2007). Sin embargo, el efecto concreto del parásito sobre las poblaciones de sus hospederos no se conoce a profundidad (Foneris 1998), aunque se ha notado un declive notorio de las poblaciones de *C. apolinari* en la última década (Rosselli 2011). Tampoco se conocen aspectos sobre la asociación de *M. bonariensis* con la vegetación local ni de sus poblaciones en diferentes hábitats o tipos de humedal que puedan eventualmente ser útiles para su manejo. Por esto decidimos evaluar la abundancia de *M. bonariensis* en una serie variada de humedales de la sabana de Bogotá e investigar su asociación con la vegetación y otras especies de aves con el fin de estimar el impacto potencial de este parásito sobre algunas especies amenazadas y típicas de los humedales de la región y proveer herramientas para su manejo.

1.4 Materiales y Métodos

1.4.1 Humedales

Hicimos los conteos en 19 humedales de la Sabana de Bogotá (Figura I-1). Escogimos estos humedales por sus características variadas en cuanto a área (2.71 a 254 Ha), la matriz en la que se encuentran (rural vs. urbano) y composición de coberturas vegetales (Tabla 1-1).

Tabla 1- 1: Humedales objeto de estudio con algunas de sus características.

Humedal	Área (Ha)	Localidad o Municipio	Coordenadas	Matriz	Composición predominante	Puntos de observación
La Laguna	2.7	Tabio	4°48'6"N 74°9'45"W	Rural	Espejo de agua.*	2
El Salitre	4.2	Guasca	4°49'29"N 73°56'16"W	Rural	Espejo de agua.*	3
Gravillera del Río Siecha	8	Guasca	4°52'28"N 73°53'18"W	Rural	Espejo de agua con algunas macollas y parches de junco en los bordes.*	3

Humedal	Área (Ha)	Localidad o Municipio	Coordenadas	Matriz	Composición predominante	Puntos de observación
Torca	11.8	Usaquén	4°47'16"N 74°2'22"W	Semi-urbano	Juncuales, eneales y un fragmento dominado por cortadera y coralito y una pradera emergente dominada por lengua de vaca y barbasco.*	6
La Colina	9	Funza	4°44'41"N 74°13'8"W	Rural	Junco, enea, vegetación emergente y flotante.*	5
Conejera	21.85	Suba	4°45'42"N 74°6'11"W	Semi-urbano	Junco, enea, vegetación emergente (lengua de vaca, barbasco y botoncillo) y flotante.**	9
Jaboque	112	Engativá	4°43'19"N 74°8'20"W	Urbano	Juncuales y eneales.**	10
Guaymaral	20	Suba	4°48'20"N 74°2'28"W	Semi-urbano	Juncuales, vegetación flotante, tapete flotante y vegetación emergente.*	5
La Herrera	254	Mosquera	4°41'36"N 74°16'22" W	Rural	Mosaico diverso de tipos de vegetación.*	10
Laureles	11.51	Tenjo	4°48'45"N 74°10'5"W	Rural	Tapete de vegetación flotante, algo de junco, macollas y vegetación emergente.*	8
Tibanica	17.2	Bosa	4°36'10"N 74°12'17"W	Semi-urbano	Norte: Juncuales, vegetación flotante, tapete flotante, vegetación emergente y espejos de agua. Sur: juncuales y kikuyo.*	6
Gualí	141	Funza	4°42'26"N 74°10'52"W	Rural	Juncuales y eneales.*	10
Córdoba	15	Suba	4°42'8"N 74°4'8"W	Urbano	Junco, enea, vegetación emergente (lengua de vaca, barbasco y botoncillo) y flotante.**	7
Meridor	7.6	Tenjo	4°50'57"N 74°7'27"W	Rural	Espejo de agua con juncuales y variedad de vegetación emergente en los bordes.*	5
Tibitoc	49	Zipaquirá	4°58'58"N 73°58'46"W	Rural	Juncal y vegetación emergente combinado con espejos de agua.*	7
Neuta	18.5	Soacha	4°34'39"N 74°13'38"W	Semi-urbano	Juncal, eneal y vegetación flotante.***	7
St. Ma. Lago	5.41	Engativá	4°41'40"N 74°5'39" W	Urbano	Espejo de agua con eneales.***	4
Ceuta	13.41	Funza	4°45'20" N 74°13'3"W	Rural	Junco, enea, vegetación emergente y flotante.*	3
J.Amarillo	120.7	Suba/Engativa	4°43'14"N 74°8'17"W	Urbano	Amplia gama de tipos de vegetación acuática.*	9

* (L. Rosselli, datos no publ.)

** (Empresa de Acueducto. Agua y Alcantarillado de Bogotá, s.f.)

*** Obs.pers.

1.4.2 Muestreos

Visitamos cada humedal dos veces: el primer período de visitas tuvo lugar del 27 de julio al 17 de agosto y el segundo del 25 de septiembre al 16 de octubre de 2009. Hicimos los conteos entre 06:00 y 10:00 h (Ralph et al. 1997, Fairbairn & Dinsmore 2001). En cada temporada visitamos uno o dos humedales por día dependiendo de la distancia entre ellos y de su tamaño. Para los conteos empleamos puntos fijos de observación (Ralph et al. 1997) de extensión variable (parcelas circulares variables, PCV) en los que se anota el número de individuos que observados y la distancia de los mismos al punto de observación (Edwards et al. 1981). El tiempo de observación por cada punto fue de 10 min. El número de puntos en cada humedal (Tabla 1-1) dependió del área del mismo (Fairbairn y Dinsmore 2001) y de las posibilidades de acceso en cada sitio y está entre dos puntos en el humedal más pequeño (Finca La Laguna) hasta diez en los de mayor extensión como La Herrera, Gualí y Jaboque. Los puntos estuvieron ubicados a lo largo del borde de cada humedal teniendo en cuenta que todos los hábitats presentes quedaran representados y que la distancia entre los puntos fuera de por lo menos 200m para evitar contar los mismos individuos más de una vez (Bibby et al. 2000, Tellería 2002).

1.4.3 Análisis

Anotamos la cantidad y distancia de los chamoses observados durante los conteos y se tomó el valor más alto como el más representativo del tamaño real de la población. El cálculo de distancia a las aves observadas se corrigió frecuentemente con ayuda de un medidor electrónico de distancia. Con base en estos datos, calculamos la densidad de *M. bonariensis* en cada humedal con ayuda del programa DISTANCE© (Thomas et al. 2009) usando un modelo de probabilidad de detección medio normal ajustado a las observaciones. Para estimar el tamaño de la población en cada humedal, se multiplicó la densidad obtenida por el área de cada uno de estos.

Otra medida que calculamos fue el número promedio de chamoses observados por punto en cada humedal. Para esto dividimos el número total de individuos registrados en cada humedal (el valor más alto de ambos muestreos) por la cantidad de puntos correspondiente a cada uno de ellos.

Con el fin de comparar la densidad y poblaciones de *M. bonariensis* en diferentes tipos de paisaje con diferente grado de impacto antropogénico clasificamos los humedales en rurales (rodeados por cultivos, potreros y zonas verdes en general), semiurbanos

(aquellos que tienen una porción importante rodeada por construcciones y otra rural) y urbanos (rodeados completamente por infraestructura urbana). Comparamos las densidades de *M. bonariensis* entre los tres tipos de paisaje usando la prueba U de Mann-Whitney.

Para conocer más las preferencias de *M. bonariensis* con respecto a la vegetación y uso de estructuras, cada vez que vimos un individuo posado o forrajeando, registramos la especie de la planta o el tipo de estructura (ej. poste de madera, techo, etc.) donde se encontraba. Esta información podría tener aplicaciones para el control y manejo de la especie. Cuando encontramos los chamoses posados en árboles, registramos la altura a la que estaban, la altura total del árbol y si había o no otro(s) árbol(es) en un radio de 5 m. También cuantificamos la densidad de follaje, clasificada como alta: árbol completamente tupido de hojas, media: con algunas hojas pero suficiente espacio para observar el fondo a través de éstas, ralo: pocas hojas en cada rama, o seco: sin hojas. También anotamos la actividad de cada individuo observado y cualquier interacción con individuos de otras especies.

Finamente, comparamos las densidades estimadas de *M. bonariensis* con las de *C. icterocephalus* (L. Rosselli, datos no publ.), el ave con la que más lo vimos interactuando. El propósito de este análisis fue determinar si la presencia de *M. bonariensis* en un lugar determinado se relacionaba con la presencia de uno de sus principales hospederos en la región.

1.5 Resultados

1.5.1 Estimación de abundancia

En los 19 humedales que se muestrearon obtuvimos densidades entre 0 y 2.24 individuos/ha ($X = 0.55 \pm 0.51$ d.e., Tabla 1-2). La densidad en Juan Amarillo, un humedal urbano fue extremadamente alta seguida por la de Ceuta, un humedal rural contiguo a un cultivo de flores y Sta. Ma. del Lago y Neuta. La población total de chamoses puede estar entre tres en Torca y la Colina respectivamente y 100 y 270 en La Herrera y Juan Amarillo, respectivamente. En los humedales Gravillera del Río Siecha, El Salitre y La Laguna no detectamos ningún individuo en ninguno de los dos muestreos.

Tabla 1-2: Densidad (con su respectivo error estándar) y tamaño de población (n) de *Molothrus bonariensis* estimados con el programa Distance© (Thomas et al. 2009) para 19 humedales de la Sabana de Bogotá.

Humedal	Densidad estimada DISTANCE	Error Estándar de la Densidad	N estimado DISTANCE
La Laguna	0.00	-	0
El Salitre	0.00	-	0
Gravillera del Río Siecha	0.00	-	0
Torca	0.24	0.06	3
La Colina	0.29	0.13	3
Conejera	0.32	0.10	7
Jaboque	0.43	0.16	48
Guaymaral	0.43	0.10	9
La Herrera	0.43	0.10	110
Laureles	0.45	0.15	5
Tibanica	0.48	0.12	8
Gualí	0.50	0.14	71
Córdoba	0.51	0.12	8
Meridor	0.58	0.15	4
Tibitoc	0.62	0.19	30
Neuta	0.82	0.33	15
Santa María del Lago	0.90	0.34	5
Ceuta	1.20	0.40	16
Juan Amarillo	2.24	0.59	270

Según el cálculo de individuos observados por punto (Tabla 1-3) Neuta es el humedal donde observamos más chamones por punto con un valor promedio de 8.29 individuos; le sigue Jaboque con 5.90 y en tercer lugar se encuentra Juan Amarillo con 5.22. Los otros humedales presentan una cantidad promedio de chamones por punto inferior a 2,6.

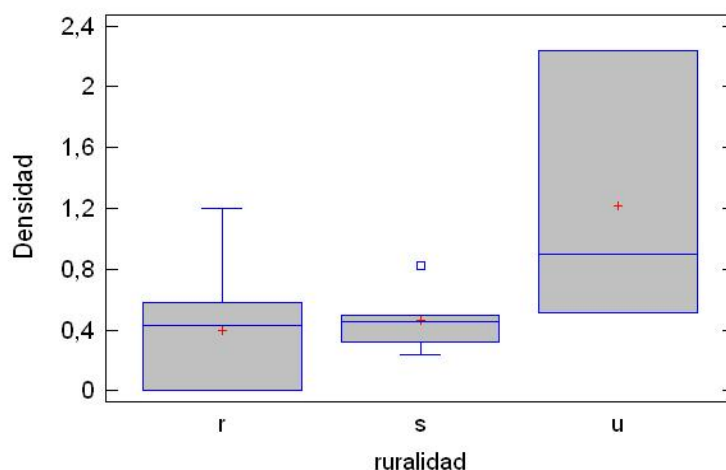
Tabla 1-3: Individuos vistos en cada humedal y y promedio de individuos de *M. bonariensis* vistos por punto en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.

Humedal	No. Ind.	No. ind. /punto
La Laguna	0	0.00
El Salitre	0	0.00
Gravillera del Río Siecha	0	0.00
Torca	2	0.33
Conejera	4	0.44
Guaymaral	3	0.60
Laureles	6	0.75
Meridor	4	0.80
Córdoba	6	0.86

Humedal	No. Ind.	No. ind. /punto
Tibanica	6	1.00
Tibitoc	7	1.00
La Colina	10	2.00
Ceuta	6	2.00
Sta. Ma. del Lago	9	2.25
La Herrera	24	2.40
Gualí	26	2.60
J.Amarillo	47	5.22
Jaboque	59	5.90
Neuta	58	8.29

Comparando los humedales según la matriz que los rodea encontramos que el promedio de densidad de *M. bonariensis* es menor en los rurales (0.40 ± 0.37 , $n=10$), ligeramente mayor en los semiurbanos (0.47 ± 0.20 , $n=6$) y mayor en los urbanos (1.22 ± 0.51 , $n=3$) (Figura 1-1). Al comparar los humedales urbanos vs. los rurales y semiurbanos agrupados (0.42 ± 0.31 , $n=16$) se observa que la densidad en los humedales urbanos es significativamente más alta ($U=19,0$, $p=0.038$).

Figura 1-1: Densidad (ind/ha) de *Molothrus bonariensis* en humedales con matriz rural (r), semiurbana (s) y urbana (u) en la Sabana de Bogotá. Para cada variable: el rectángulo (caja) va desde el cuartil inferior hasta el superior, cubriendo la mitad central de cada muestra (el 50% de los datos). La línea central en cada caja muestra la mediana y el símbolo más muestra el promedio. Los palitos (bigotes) van desde la caja hasta los valores máximo y mínimo de la muestra, exceptuando los puntos extremos que salen aparte. Los puntos extremos son aquellos que están a más de 1,5 veces que la distancia de la extensión del intercuartil por encima o por debajo (Neuta en los semirurales).



1.5.2 Asociación con vegetación

De los 584 chamones que detectamos en total en los dos muestreos, a la mayoría 447 (76,5%) los observamos en algún momento en contacto con algún tipo de vegetación (Tabla 1-4).

Tabla 1- 4: Número de *Molothrus bonariensis* observados en contacto con diferentes especies de planta en los 19 humedales de la Sabana de Bogotá.

Especie de planta	Nombre común	Tipo vegetación	de No. Individuos observados
<i>Schoenoplectus californicus</i>	Junco	alta hu.	115
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Pasto kikuyo	baja te.	93
<i>Acacia melanoxylon</i>	Acacia	Arborescente ⁻	43
<i>Eucalyptus spp.</i>	Eucaliptos	Arborescente ⁻	39
<i>Sambucus peruviana</i>	Sauco	Arborescente ⁺	32
<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	Arborescente ⁺	31
<i>Limnobiium laevigatum</i>	Buchón	baja hu.	27
<i>Typha latifolia</i>	Enea	alta hu.	23
<i>Fraxinus chinensis</i>	Urapán	Arborescente ⁻	12
---	Árboles secos sin hojas	Arborescente	8
<i>Prunus serotina</i>	Cerezo	Arborescente ⁺	6
<i>Cupressus lusitanica.</i>	Ciprés	Arborescente ⁻	5
<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	Arborescente ⁺	2
<i>Smallanthus pyramidalis</i>	Arboloco	Arborescente ⁺	2
<i>Quercus humboldtii</i>	Roble	Arborescente ⁺	2
<i>Polygonum hydropiperoides</i>	Barbasco	baja hu.	1
<i>Bidens leavis</i>	Botoncillo	baja hu.	1
<i>Bougainvillea glabra</i>	Buganvil	Arborescente ⁻	1
<i>Croton spp.</i>	Sangregao	Arborescente ⁺	1
<i>Eucalyptus ficifolia</i>	Eucalipto Pomarroso	Arborescente ⁻	1
<i>Rumex conglomeratus</i>	Lengua de vaca	baja hu.	1
<i>Pinus spp.</i>	Pinos	Arborescente ⁻	1
TOTAL			447

baja hu.: Vegetación baja de humedal.

alta hu.: Vegetación alta de humedal.

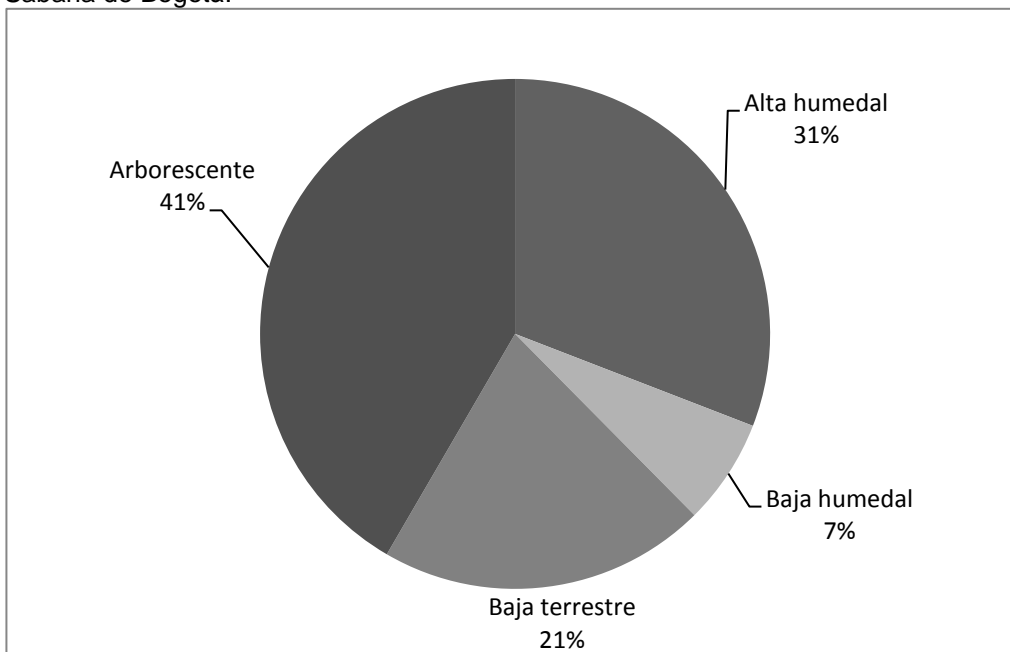
baja te.: Vegetación baja terrestre.

+ : nativos.

- : introducidos.

Agrupando en tipos generales de vegetación encontramos que *M. bonariensis* se asoció en mayor grado con la vegetación arborescente, seguido por vegetación alta de humedal (Junco y Enea), vegetación baja terrestre (pasto kikuyo) y vegetación baja de humedal respectivamente (Figura 1-2). Las diferencias entre los cuatro tipos de vegetación son significativas ($X^2=118,45$, $p<0.00$).

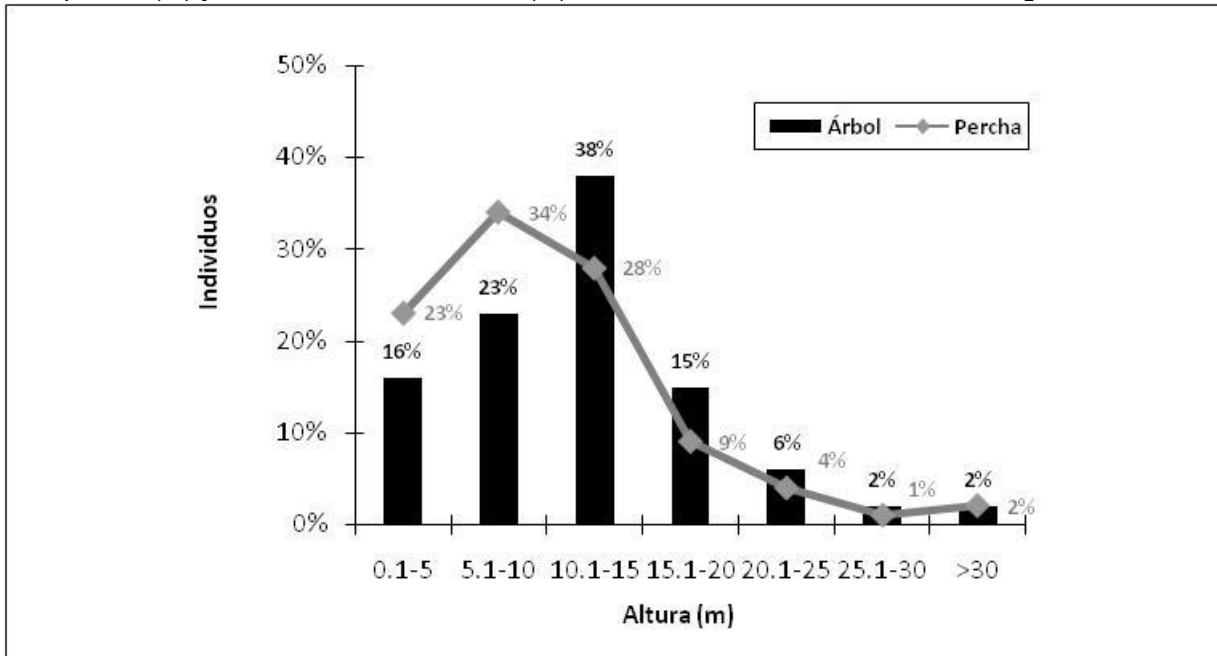
Figura 1- 2: Asociación de los chamones a los diferentes tipos de plantas en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.



De los 447 *M. bonariensis* que observamos en asociación con la vegetación a 186 (41,6%) los observamos posados en vegetación arborescente. De estos el 54,8% estaban posados en árboles introducidos, 40,9% en árboles nativos y 4,3% en árboles secos a los que no se les pudo identificar la especie.

Teniendo en cuenta todos los chamones que se registraron en árboles, a la mayoría se les observó en árboles de talla entre 10.1 y 15 metros y posados en el intervalo de altura entre 5,1 a 10 metros (Figura 1-3). Dos tercios (67%) estaban posados en árboles aislados de otros árboles y la mayoría (43%) prefirió densidad del follaje media, en segundo lugar densa con 36% seguido de ralo (11%) y por último seco (10%).

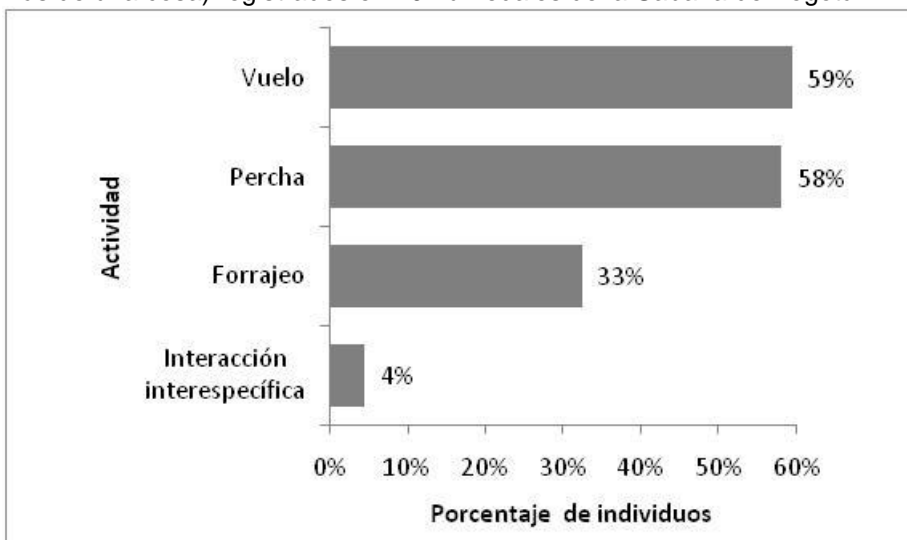
Figura 1- 3: Porcentaje de individuos observados de *Molothrus bonariensis* en función de la altura de la percha (m) y de la altura total del árbol (m) en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.



1.5.3 Actividad e interacción interespecífica

En total observamos 584 chamonos en los dos muestreos; la mayoría fue avistada en vuelo y posada (Figura 1-4). Su vuelo tenía una altura de aproximadamente 20m y los individuos parecían desplazándose por corredores; cuando se posaban por lo general sólo era por un corto período de tiempo como un pequeño descanso para seguir su recorrido. En este tipo de actividad los observamos en grupos pequeños (promedio de 2.77 individuos por bandada (estimado con DISTANCE©, Thomas et al. 2009)).

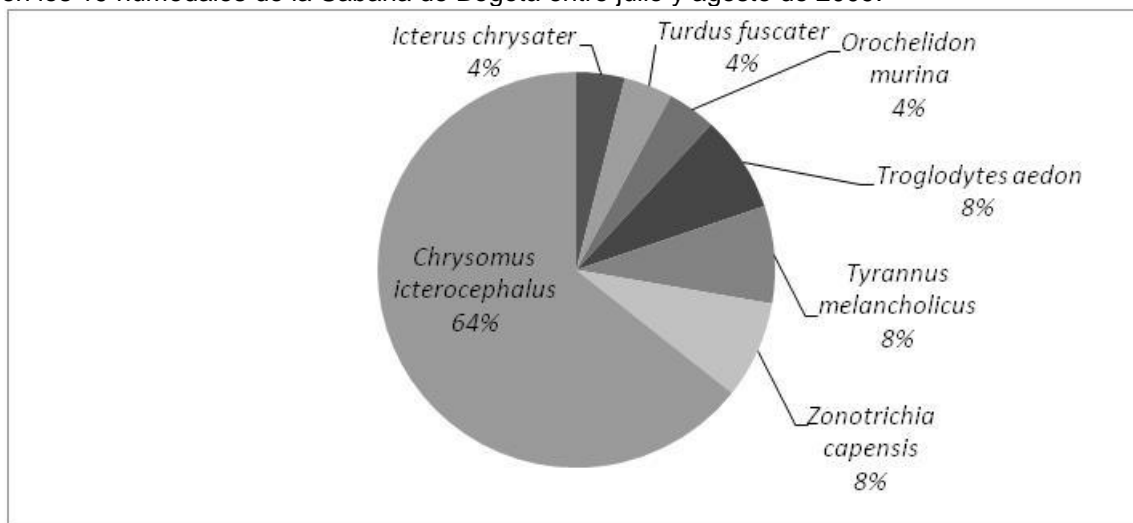
Figura 1- 4: Actividad de los individuos de *Molothrus bonariensis* (varios individuos vistos haciendo más de una cosa) registrados en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.



En tercer lugar los registramos en algún momento forrajeando sobre el kikuyo o la vegetación flotante. A diferencia del comportamiento anteriormente descrito, en esta actividad se les veía en grupos más abundantes (10-40 individuos). El grupo más grande de chamoses forrajeando lo observamos sobre el suelo en Jaboque donde contamos 40 individuos. Las proporciones de hembras y machos dentro de los grupos de forrajeo fueron muy variadas sin mostrar ningún patrón específico, en algunos casos las hembras eran más abundantes mientras que en otros casos los machos. Aquí téngase además en cuenta que los machos jóvenes tienen plumaje similar a las hembras (pardo y no negro como los machos adultos) por lo que en algunos casos se dificulta la determinación del sexo.

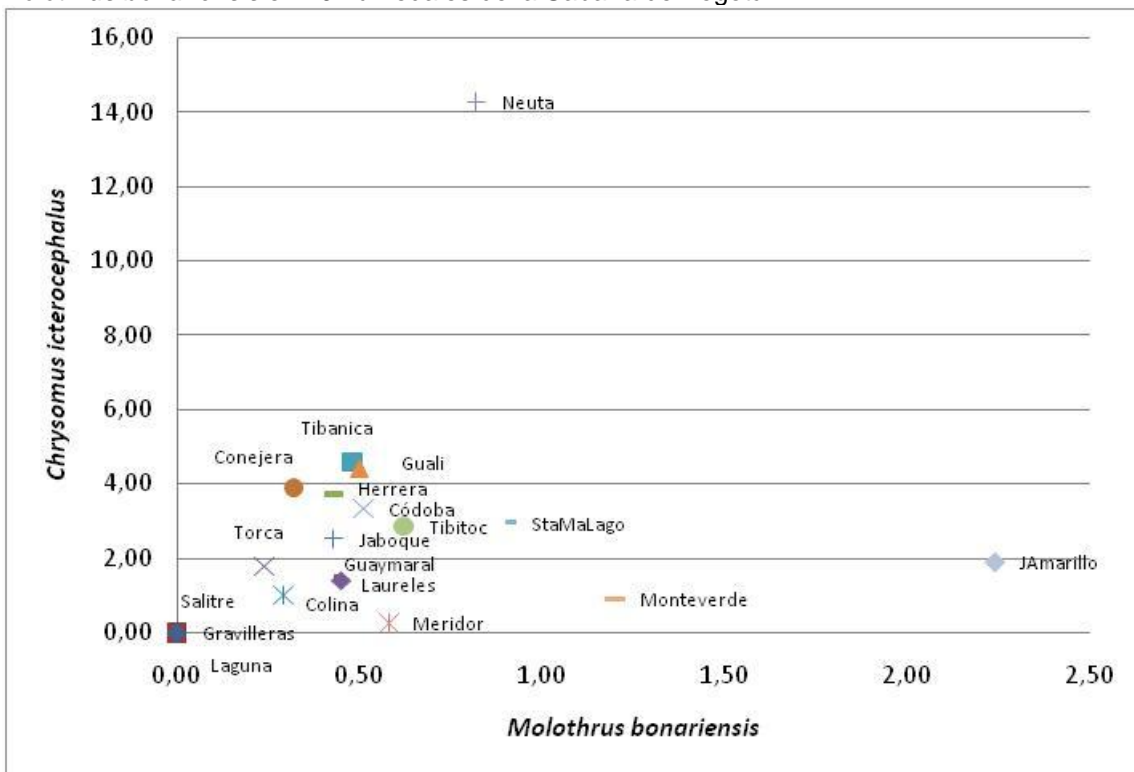
Solamente a 26 chamoses de los observados (4,5%), los vimos interactuando con individuos de otras especies. La interacción que más se detectó fue con la monjita (*Chrysomus icterocephalus bogotensis*). Las interacciones con esta especie en la mayoría de los casos se trataron de interacciones “sospechosas” de parasitismo en los juncales (hábitat preferido para la anidación de ésta). En algunos casos observamos grupos mezclados de las dos especies. En otros también observamos cómo los machos de *C. icterocephalus bogotensis* defendían sus territorios teniendo reacciones agresivas hacia los chamoses. El resto de interacciones se dio con otras seis especies comunes de la zona (Figura 1-5). Estas interacciones por lo general fueron de menor duración y menos intensas. Sin embargo, en el caso de *Orochelidon murina* y *Tyrannus melancholicus* también los observamos defendiendo sus territorios frente a *M. bonariensis*.

Figura 1- 5: Las especies con las que interactuaba *Molothrus bonariensis* (total 26 interacciones) en los 19 humedales de la Sabana de Bogotá entre julio y agosto de 2009.



La densidad de *Molothrus bonariensis* resultó significativamente menor que la de *Chrysomus icterocephalus bogotensis* en los humedales estudiados (Prueba de Wilcoxon para muestras pareadas, $T=3.18$ $p=0,0015$, $N=19$) y hay una relación positiva pero no significativa (correlación no paramétrica de Spearman $r_s=0.43$, $p=0.07$, $n=19$) entre la densidad poblacional de las dos especies (Figura 1-6). Obsérvese que el humedal de Juan Amarillo tiene una densidad llamativamente alta de *M. bonariensis* con respecto a la de *C. icterocephalus* mientras que el de Neuta tiene una densidad muy alta de *C. icterocephalus* con respecto a *M. bonariensis*.

Figura 1-6: Relación entre la densidad (ind./ha) de *Chrysomus icterocephalus bogotensis* y de *Molothrus bonariensis* en 19 humedales de la Sabana de Bogotá.



1.6 Discusión

1.6.1 Estimación de abundancia

Cada vez más se ven grandes números de *Molothrus bonariensis* en zonas verdes de la ciudad de Bogotá como en la Universidad Nacional y en el campo asociadas a la cascarilla de arroz de los cultivos y a las cosechas de cereales como el maíz (L. Rosselli, obs. pers). De observaciones como la anterior viene la preocupación común de que las

poblaciones de *Molothrus bonariensis* parecen estar aumentando en la Sabana de Bogotá. Sin embargo, su tamaño de población que estimamos en los humedales es contrastante con las expectativas porque las densidades no resultaron altas e inclusive los chamoses estuvieron ausentes en algunos humedales. Nuestras densidades bajas coinciden con el patrón esperado según los resultados de conteos navideños de más de 20 años de la Sabana de Bogotá que no indican un aumento significativo de *M. bonariensis* (L. Rosselli ABO, datos no publ.). Inclusive en la mayoría de los humedales las densidades de *M. bonariensis* fueron significativamente inferiores a las de *Chrysomus icterocephalus bogotensis* (su principal hospedero).

Lo anterior, sumado a la estabilidad en las poblaciones de aves hospederas (A.B.O. datos no publ.), puede hacer pensar que el *M. bonariensis* (aún) no representa una amenaza significativa para la supervivencia de la mayoría de especies típicas de estos hábitats que han sufrido su parasitismo. Sin embargo, no existen datos específicos sobre el grado de parasitismo para poder comprobar esta idea y se desconoce el efecto que podrían tener los chamoses así su densidad poblacional no sea especialmente alta, particularmente sobre especies que han sufrido disminuciones poblacionales por otros motivos. Por ejemplo sugerimos estar atentos a cambios poblacionales de *C. icterocephalus* porque en otras zonas del país como el Valle del Cauca, esta especie sufre niveles de parasitismo muy altos; si algo similar sucediera en el Altiplano Cundiboyacense, la población de la subespecie endémica de la región podría verse amenazada (L.G. Naranjo com. pers.). Además, la presencia de *M. bonariensis* bien podría estar afectando la supervivencia de *C. apolinari*, especie declarada en estado de peligro de extinción (Caycedo & Renjifo 2002): sus poblaciones son tan reducidas (muy pocas parejas en los pocos humedales de la Sabana en donde aún persisten, Rosselli 2011) que la presencia de incluso unos pocos chamoses puede ser adversa para su supervivencia. Debido a que *C. apolinari* es una especie endémica de los humedales de la Sabana de Bogotá esta situación es preocupante, por lo que sería muy conveniente en estudios próximos evaluar más concretamente el impacto directo que está teniendo *M. bonariensis* sobre su éxito reproductivo. Hasta el momento uno de los pocos nidos encontrados en el humedal de La Conejera fue parasitado y tenía más huevos de *M. bonariensis* que del *C. apolinari* (Castro et al. 2007a).

Nuestros resultados indican que el Chamón Parásito es más abundante en la ciudad que en la zona rural de la Sabana de Bogotá. Pensamos, al igual que Porto & Piratelli (2005), que siendo un parásito generalista, *M. bonariensis* sería menos afectado por alteraciones

del medio ambiente que especies con requisitos más específicos para su anidación, por lo cual podría aumentar su población más rápidamente en ambientes perturbados. La mayor densidad de *M. bonariensis* en la ciudad también puede estar relacionada con la mayor proporción de cobertura vegetal acuática en los humedales urbanos (Rosselli 2011). En otro trabajo, Howell et al. (2007) encontraron que en el medio oeste y este de Estados Unidos en los bosques fragmentados hay más Tordos Cabecicafés (*Molothrus ater*) y por consiguiente más parasitismo de cría que en los no fragmentados (véase también Robinson et al. 1995b), lo que apoya la idea de que los *Molothrus* generalmente se ven favorecidos por la intervención humana. Esto es preocupante ya que *C. a. apolinari* ha sido registrado en años recientes principalmente en los humedales urbanos o semiurbanos grandes con amplios juncales y parece estar ausente en los humedales rurales estudiados (Rosselli 2011), lo cual aumenta la intranquilidad por su supervivencia si efectivamente los chamoses tienen mayores efectos en áreas urbanas.

1.6.2 Asociación con vegetación

En primera instancia observamos una gran afinidad de *Molothrus bonariensis* por la vegetación arborescente, especialmente por los árboles entre 10,1 y 15 metros, y que estén aislados de otros árboles y que tengan una densidad del follaje medio. Creemos que esta afinidad se debe a que las aves parasitarias usan perchas altas para monitorear la actividad de sus víctimas mientras que construyen sus nidos, para luego localizarlos (Banks & Martin 2001). En los árboles con estas características, *Molothrus bonariensis* encuentra una mayor visibilidad para detectar sus posibles hospederos pero al mismo tiempo puede pasar desapercibido por éstos.

Por otro lado, se observaron con mayor frecuencia chamoses posados en árboles introducidos que en los nativos. Es importante tener en cuenta que esto puede estar relacionado con el hecho de que tales árboles pueden ser más disponibles: Eucaliptos y posiblemente Acacias fueron sembrados específicamente para secar los humedales, mientras que queda poca vegetación arbórea nativa alrededor de la mayoría. Por eso, sin poder cuantificar la disponibilidad de los dos tipos de árboles es algo arriesgado hablar de preferencias. Pero una cosa cierta es que pocos árboles nativos alrededor de los humedales alcanzan una altura como la de los Eucaliptos. Esta información la consideramos de suma importancia para que las autoridades ambientales tengan en cuenta en los planes de restauración de los humedales si quieren disminuir la afluencia de *M. bonariensis* en un sitio determinado. Coincidimos con la opinión de Andrade (1998)

quien dice que “la creación de franjas de amortiguación debería hacerse con vegetación natural del sitio, impidiendo la introducción de especies exóticas...”.

En segundo lugar observamos una gran afinidad de *Molothrus bonariensis* por la vegetación alta de humedales, lo que debe correlacionarse con la preferencia de su hospedero principal *Chrysomus icterocephalus bogotensis* por los juncales como lugar de anidación (Hilty & Brown 1986, Naranjo 1995). También es el hábitat preferido para anidación y forrajeo del cucarachero *Cistothorus apolinari*, lo cual pudo haber aumentado su susceptibilidad de parasitismo por el chamón.

1.6.3 Actividad

Al igual que Hilty & Brown (1986), nosotros a menudo observamos a *M. bonariensis* forrajeando en el suelo en sitios abiertos. Sin embargo, estos autores afirman que este tipo de actividad la hacen solos ó más frecuentemente en pequeños grupos laxos y que grandes grupos son raros excepto en los dormideros. Sin embargo, cuando nosotros los observamos tanto forrajeando en el suelo como en sus dormideros, los chamonos andaban en grupos abundantes (10-40 individuos).

1.6.4 Interacción interespecífica

En general obtuvimos densidades muy bajas de *Molothrus bonariensis* y de los que observamos, muy pocos estaban interactuando con individuos de otra especie. Para corroborar nuestros resultados, pensamos que sería apropiado realizar un tercer muestreo que tuviera lugar en el primer semestre del año ya que los resultados pudieron sesgarse por el hecho de que el período en que realizamos los muestreos no coincidía con la época de reproducción de los chamonos (entre mediados de febrero y julio según Hilty & Brown (1986)) ni con la de su hospedero principal *Chrysomus icterocephalus bogotensis* (entre abril y julio según Naranjo (1995)). Los líderes comunitarios quienes nos acompañaron durante los muestreos también nos afirmaban que en los primeros meses del año los chamonos son mucho más abundantes, en particular que los grandes grupos se observan sólo en épocas específicas, muy probablemente relacionadas con la época reproductiva.

1.7 Agradecimientos

Agradecemos el apoyo y colaboración de la Empresa de Acueducto de Bogotá y de los propietarios, administradores y vecinos de los humedales por su ayuda, acompañamiento y cálida acogida, en particular a A. Páez, A. Paz, A. Phillips, B. López, C. Gómez, C. Hernández, G. de Matallana, H. Medellín, J. V. Sánchez, L. Rivera, N. C. Gómez, M. Gómez, S. Maldonado, Asociación de Propietarios de Meridor, Fundación ADESSA, Fundación ALMA, Fundación FIDHAP y a la Fundación Humedal la Conejera. L. Agudelo y N. Moreno de la Asociación Bogotana de Ornitología colaboraron con la toma de datos. F. G. Stiles y C.D. Cadena constantemente nos han acompañado en todos las etapas del proyecto y colaboraron con la revisión del texto. F. Remolina elaboró el mapa de área de estudio. M. Villaneda agradece especialmente a T. Hubert y su familia sin cuyo apoyo constante la realización de este proyecto no hubiera sido posible. Esta investigación ha sido financiada parcialmente por la Vicerrectoría de Investigación Sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, la Asociación Bogotana de Ornitología y BirdLife International.

1.8 Literatura Citada

- ANDRADE, G.I. 1998. Los humedales del altiplano de Cundinamarca y Boyacá: ecosistemas en peligro de desaparecer. Pp.59-72 En: Guerrero, E. (Ed.), H. Sánchez, E.N. Escobar (Compiladores). 1998. Una Aproximación a los Humedales en Colombia. Editorial Guadalupe. Fondo FEN Colombia.
- ANÓNIMO. Empresa de Acueducto. Agua y Alcantarillado de Bogotá. s.f. Ventana Ambiental. Humedales. Humedal Conejera.
- ANÓNIMO. Empresa de Acueducto. Agua y Alcantarillado de Bogotá. s.f. Ventana Ambiental. Humedales. Humedal Córdoba.
- ANÓNIMO. Empresa de Acueducto. Agua y Alcantarillado de Bogotá. s.f. Ventana Ambiental. Humedales. Humedal Jaboque.
- ASOCIACIÓN BOGOTANA DE ORNITOLOGÍA (ABO). 2000. Aves de la Sabana de Bogotá, guía de campo. ABO, CAR. Bogotá, Colombia.
- ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO SOCIAL Y AMBIENTAL –ADESSA-. 2004. Plan de manejo integral y comunitario para la recuperación y protección del humedal de Jaboque ubicado en la localidad de Engativá. En: Andrade M.E. & H. Benitez. Los Humedales de la Sabana de Bogotá: Área Importante para la Conservación de las Aves de Colombia y el Mundo.
- BANKS A. J. & T.E. MARTIN. 2001. Host activity and the risk of nest parasitism by brown-headed cowbirds. *Behavioral Ecology* 12(1): 31–40
- BIBBY, C.J., D.A. HILL, N.D BURGESS & S. MUSTOE. 2000. Bird census techniques. 2nd. Edition. Academic Press. Londres.
- CASTRO, J.A., H.D. BENÍTEZ, J.E. MORALES & E. CAMPOS. 2007a. Primer registro parasitismo de cría por parte del “chamón” (*Molothrus bonariensis*) al cucarachero

- de pantano (*Cistothorus apolinari*; familia Troglodytidae), en el humedal La Conejera, Bogotá. Restauración ecológica, Humedal La Conejera. Pp. 30-33.
- CASTRO, J.A., H.D. BENÍTEZ, J.E. MORALES & E. CAMPOS. 2007b. Registro de las actividades parásitas del "chamón" (*Molothrus bonariensis*) y su influencia en los nidos de la "monjita" (*Agelaius icterocephalus bogotensis*), en el humedal La Conejera, Bogotá. Restauración ecológica, Humedal La Conejera. Pp. 22-29.
- CAYCEDO, P. & L.M. RENJIFO. 2002. *Cistothorus apolinari*. en : Renjifo, L. M., A. M. Franco-Maya, J. D. Amaya-Espinel, G. H. Kattan & B. López-Lanús (eds.). 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- CRUZ, A., T. MANOLIS & J.W. WILEY. 1985. The shiny cowbird: a brood parasite expanding its range in the caribbean region. Ornithological Monographs 36, Neotropical Ornithology. Pp. 607-620 .
- EDWARDS, D.K., G.L. DORSEY & J.A. CRAWFORD. 1981. A comparison of three avian census methods. Pp. 170-176 en C.J. Ralph, y M. Scott (Eds.) 1981. Estimating numbers of terrestrial birds. Studies in avian biology No. 6. Cooper Ornithological Society. Lawrence, Kansas.
- FAIRBAIRN, S.E. & J.J. DINSMORE. 2001. Factors associated with occurrence and density of wetland birds in the prairie pothole region of Iowa. Jour. Acad. Sci. 108:8-14.
- FONERIS, L. 1998. Gaudério, agente de extinción o amenaza para la avifauna? Boletín CEO 13: 24-27.
- HERNÁNDEZ, J., R. ORTIZ, T. WALSCHBURGER & A. HURTADO. 1992. Estado de la biodiversidad en Colombia. Acta Zoológica Mexicana. Volumen Especial: 41-43.
- HILTY, S.L. & W. L. BROWN. 1986. A Guide to the Birds of Colombia. Princeton University Press. USA.
- HOOGHIEMSTRA, H. 1984. Vegetational and climatic history of the high plain of Bogotá, Colombia. A continuous record of the last 3.5 million years. The Quaternary of Colombia, Vol 10. J. Cramer Stuttgart. Germany.
- HOWELL, A.C., W. D. DIJAK & F. R. THOMPSON III. 2007. Landscape context and selection for forest edge by breeding Brown-headed cowbirds. Landscape Ecol (2007) 22:273-284.
- KATTAN, G.H. 1996. Growth and provisioning of shiny cowbird and house wren host nestlings. Journal of Field Ornithology 67 (3): 434-441.
- LÓPEZ ARÉVALO, H. F. & A. OTÁLORA. 2005. Evaluación de las amenazas para la fauna silvestre vertebrada presente en el humedal Jaboque y desarrollo de propuestas para su mitigación. Pp. 387-427 en J.O. Rangel-Ch (Director) y L.N. Parra (Coord. Cientif.) 2005. Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque. Convenio de cooperación científica y técnica entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Universidad Nacional de Colombia. Informe Final. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Universidad Nacional de Colombia (UN), Bogotá.
- MASSONI, V. & J.C. REBORDA. 1998. Costs of brood parasitism and the lack of defenses on the Yellow-winged Black Bird- Shiny Cowbird system. Behavioral Ecology and Sociobiology, Heidelberg, 42 (4): 273-280.
- MAY, R.M. & S.K. ROBINSON. 1985. Population dynamics of avian brood parasitism. American Naturalist 130:161-167.
- MONTAÑEZ , G., O. ARCILA, J.C. PACHECHO, Y. HERNÁNDEZ, J. GRACIA & H. LANCHEROS.1992. ¿Hacia dónde va la Sabana de Bogotá?: Modernización, conflicto, ambiente y sociedad. Universidad Nacional de Colombia, SENA.
- MORALES ROZO, A., G. ANDRADE & M.L. ROSAS. 2007. Aves acuáticas en las lagunas de Fúquene, Cucunubá y Palacio. Inventario, estado actual e importancia para la

- conservación.p.169. En: Franco Vidal L. & G. Andrade (Eds.). 2007. Fúquene, Cucunubá y Palacio. Conservación de la biodiversidad y manejo sostenible en un ecosistema lagunar Andino. Fundación Humedales e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 362 p.
- NARANJO, L.G. 1995. Patrones de reproducción en dos poblaciones aisladas de *Agelaius icterocephalus* (Aves:Icteridae). *Caldasia* 18(86): 89-100.
- PEASE, C.M. & J.A. GRZYBOWSKI. 1995. Assessing the consequences of brood parasitism and nest predation on seasonal fecundity in passerine birds. *Auk* 112:343-363.
- PORTO, G. R. & A. PIRATELLI. 2005. Ethogram of the shiny cowbird, *Molothrus bonariensis* Gmelin (Aves, Emberizidae, Icterinae). *Revista Brasileira De Zoologia* 22(2): 306-312.
- RALPH, C. J., G. R. GEUPEL, P. PYLE, T. E. MARTIN, D. F. DESANTE & B. MILÁ. 1997. Manual de Métodos de Campo para el Monitoreo de Aves Terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-114. Albany, CA.
- RENJIFO, L.M. 1992. Los humedales de la Sabana de Bogotá. *Ambiente Capital*, 1 (1): 3-8.
- RENJIFO, L. M., A. M. FRANCO-MAYA, J. D. AMAYA-ESPINEL, G. H. KATTAN & B. LÓPEZ-LANÚS (eds.). 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- ROBINSON, S.K., S.I. ROTHSTEIN, M.C. BRITTINGHAM, L.J. PETIT & J.A. GRZYBOWSKI. 1995a. Ecology and behaviour of cowbirds and their impact on host populations. Pp. 428-460 en: Martin T.E. & Finch D.M. (eds) *Ecology and management of Neotropical migratory birds*. Oxford University Press, New York.
- ROBINSON, S.K., F.R THOMSON III, T.M. DONOVAN, D.R. WHITEHEAD & J. FAABORG. 1995b. Regional forest fragmentation and the nesting success of migratory birds. *Science* 267:1987-1990.
- ROSSELLI, L. 2011. Factores ambientales relacionados con la presencia y abundancia de las aves de los humedales de la Sabana de Bogotá. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- RUEDA-CEDIEL, P., G. KATTAN & M. P. RAMIREZ-PINILLA. 2008. Ovarian and oviductal morphology of a brood parasitic bird, *Molothrus bonariensis* (Passeriformes, Icteridae). *Acta Zoologica* 89:261-276.
- STATISTIX 9. Analytical Software . PO.Box 12185.Tallahassee. FL32317.USA
- TELLERÍA, J. L. 2002. Objetivos y métodos del seguimiento de poblaciones de aves. En A.Sánchez (ed): *Actas de las XV Jornadas Ornitológicas Españolas*. Pp. 23-32. SEO/BirdLife, Madrid.
- THOMAS, L., J.L. LAAKE, E. REXSTAD, S. STRINDBERG, F.F.C. MARQUES, S.T. BUCKLAND, D.L. BORCHERS, D.R. ANDERSON, K.P. BURNHAM, M.L. BURT, S.L. HEDLEY, J.H. POLLARD, J.R.B. BISHOP & T.A. MARQUES. 2009. Distance 6.0. Release 2. Research Unit for Wildlife Population Assessment, University of St. Andrews, UK. <http://www.ruwpa.stand.ac.uk/distance/>.
- TRINE, CH.L., W.D. ROBINSON & S.K. ROBINSON. 1998. Consequences of Brown-headed Cowbird parasitism for host population dynamics. Pp.273-295 en Rothstein S.I. & S.K. Robinson (eds.). *Parasitic birds and their hosts: studies in coevolution*. Oxford University Press, New York.
- VAN DER HAMMEN, T. 2003. Los humedales de la Sabana: Origen, evolución, degradación y restauración. Pp. 19-51 en A. Guarnizo y B. Calvachi (Coord.) 2003. *Los humedales de Bogotá y la Sabana*, Vol. 1. Acueducto de Bogotá, Conservación Internacional Colombia. Bogotá.
- VELÁSQUEZ-TIBATÁ, J.I., A. GUTIÉRREZ & E. CARRILLO. 2000. Primer registro de parasitismo reproductivo en el Cucarachero de Pantano *Cistothorus apolinari* por el Chamón Maicero *Molothrus bonariensis*. *Cotinga* 14:102-103.

2. Capítulo 2. An assessment of water quality and its relationship to aquatic bird richness in a high Andean plateau of Colombia

Viviana Quiroga¹, Loreta Rosselli²

¹ Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
e-mail: vi.quiroga54@uniandes.edu.co Telephone: +571-6435730

²Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Sometido a la Revista de Biología Tropical

2.1 Abstract

Wetlands are of great importance due to the multiple ecosystem services they provide and their high productivity and biodiversity. In the Bogotá highland plateau these ecosystems have been continuously degraded and their waters have received large quantities of pollutants from diverse sources. In this study we assessed some aspects of the water quality of nineteen rural and urban wetlands of the Bogotá region and its relationship to aquatic bird richness. We measured the temperature, pH, conductivity, total dissolved solids and dissolved oxygen, and estimated total aquatic bird richness in these ecosystems. We classified species into eight foraging guilds and conducted a canonical correspondence analysis to assess the possible relationship between water quality and total and by-guild aquatic bird species richness. Our results indicate that Bogotá's wetlands present low oxygen or anoxic conditions and in some cases are highly mineralized or acidic. These conditions can be explained by the strong hydric pollution pressures these ecosystems suffer, both in rural and urban zones. We recorded a total of 39 aquatic bird species corresponding to 32 genera and 15 families. We did not find a significant relationship between any aspect of water quality and total or by-guild aquatic bird species richness, although species numbers of some guilds tended to be associated

with particular combinations of physicochemical values. Thus, the relationship between total species richness and water quality is probably indirect or may be better explained by other variables that were not considered in this study.

Keywords Wetlands, Bogotá plateau, water quality, species richness, foraging guilds, aquatic birds

2.2 Introduction

Wetlands are a global conservation priority due to the multiple ecosystem services they provide (hydric and nutrient cycles regulation, erosion control, terrestrial biomass decomposition, carbon dioxide retention, polluted waters purification, inundations and droughts regulation, amongst others) and their great productivity and biodiversity (Instituto Humboldt, 1998; Bobbink et al., 2006; Mitsch & Gosselink, 2007). Although their importance for conservation has been ratified by agreements such as the Ramsar Convention and the International Convention of Biological Diversity (Bobbink et al., 2006), wetlands continue to be degraded by different anthropogenic causes (Bobbink et al., 2006; Dar & Dar, 2009).

The Bogotá region is part of the most important system of highland wetlands in northern South America (EAAB & CIC, 2003a), for they are a center of origin and endemism of aquatic birds and concentrate threatened and migratory species (Fjeldså, 1985; Andrade & Benitez, 2003; van der Hammen et al., 2008). They also contain high species richness and endemism of insects (Sánchez & Amat, 2005), mollusks, crustaceans, mammals (van der Hammen et al., 2008), reptiles and plants (Osorio et al., 1997; van der Hammen et al., 2008), many of which are in danger of extinction (Márquez, 2003; van der Hammen et al., 2008). These ecosystems have continuously been fragmented and deteriorated by agricultural and urban development (EAAB & CIC, 2003a; EAAB & CIC, 2003b). Their area has been significantly reduced and their waters have become severely polluted by wastes from domestic, livestock, agricultural and industrial sources (Instituto Humboldt, 1998; Rodríguez et al., 2000; Ávila & Estupiñán, 2006). For these reasons, the Bogotá plateau's wetlands have been transformed into eutrophic ecosystems, (Arcos & Gómez, 2006; van der Hammen et al., 2008), containing waters that in most cases are not apt for human or agricultural consumption (Ávila & Estupiñán, 2006).

There have been few comparative studies of water quality in the highland wetlands of Cundinamarca and Boyacá departments, which include the Bogotá area. In the most comprehensive study to date, Vásquez et al. (2006) evaluated the ecological status of ten regional wetlands, analyzing several physicochemical variables and the phytoplankton community. Another comparative study of six wetlands in the Bogotá plateau assessed some physicochemical variables as well as fecal and total coliforms (EAAB & CIC, 2003b). Both studies found a high pollution and eutrophication level of the waters of the wetlands studied.

There is still a need for a better understanding of the effects water quality has on ecological processes and community structure (van der Hammen et al., 2008), although it is known that it can be related to important changes in species composition (de Jonge et al., 2002; Horner, 2001), due to the importance that hydrological conditions have in the preservation of wetlands' structure, functioning and biota (Garzón, 2006; Horner, 2001). Previous studies have documented a negative relationship between water quality and wetland species richness (Horner, 2001), as well as cascading effects of water quality on wetland bird populations through changes in habitat and food resources (Weller, 1999). In the Bogotá area wetlands, poor water quality has been related to high bird mortality and body malformations (EAAB & CIC, 2003b).

Because the wetland bird communities of this region contain many endemic and/or endangered bird taxa (Fjeldså, 1985; Andrade & Benitez, 2003; van der Hammen et al., 2008), and because wetlands have a high habitat value for birds (Horner, 2001), it is important to evaluate the water quality of these ecosystems and its relationship to that group. The aims of our study were to assess some aspects of Bogotá plateau wetlands water quality and establish their relation with aquatic bird richness.

2.3 Materials and methods

2.3.1 Study area

The study area comprises nineteen wetlands in the Bogotá highland plateau (Figure I-1), locally known as Sabana de Bogotá, located in Cundinamarca department in the Eastern Andes of Colombia, at elevations of ca. 2.600m (ABO, 2000). These wetlands (Ceuta Luisiana, Córdoba, Gravilleras, Gualí, Guaymaral, Juan Amarillo, Jaboque, La Colina, La

Conejera, Laguna La Herrera, finca La Laguna, Laguna El Salitre, Los Laureles, Meridor, Neuta, Santa María del Lago, Tibanica, Tibitoc, and Torca) were selected in order to include a variety of locations differing in their rural or urban location, sizes, aquatic vegetation coverage and bird fauna, besides including sites that are important because of the anthropogenic threats they present and the recovery and management efforts to which they have been subjected (Rosselli, 2011).

2.3.2 Physicochemical variables

Between December 2009 and March 2010, we recorded the temperature, pH, conductivity, total dissolved solids and dissolved oxygen of the water bodies of the nineteen wetlands by submerging a multimetric probe (Yellow Springs Incorporated) in the water. We also calculated the oxygen saturation percentage to be able to make a comparison between different wetlands since this variable allows standardization for altitude and temperature conditions under which measurements are made (Ramírez & Viña, 1998). We registered all variables near the border of the water bodies (excluding La Herrera, where three of the sampling points were located in the interior of the hydric zone), generally close to the aquatic vegetation and in a number of points (Table 2-1) depending on wetland area, previously established by Rosselli (2011). We made three replicate measurements at each point. Records were taken between 06:00 and 10:00 h.

Table 2-1: Area, Shannon Habitat Diversity Index (SDI), percentage of the surrounding matrix covered by manmade structures, open water percentage and number of sampling points included in the measurement of the physicochemical variables in each of the wetlands studied. R: rural, U: urban, SR: semirural, according to the percentage of the surrounding matrix covered by manmade structures. Area, SDI, percentage of the surrounding matrix covered by manmade structures and open water were taken from Rosselli (2011).

Wetland	Area (ha)	Number of Sampling Points	SDI	% Surrounding matrix	% Open water
Ceuta Luisiana (R)	14.43	4	1.03	14	65
Córdoba (U)	14.73	6	0.95	68	9
Gravilleras (R)	12.49	3	0.34	22	92
Gualí (R)	141.09	10	1.58	27	3
Guaymaral (R)	20.04	5	1.42	17	6
Torca (R)	11.85	6	1.48	15	0
Juan Amarillo (U)	120.66	10	1.50	68	24
Jaboque (SR)	108.39	10	1.52	53	5
La Colina (R)	10.49	5	1.31	29	59
La Conejera (R)	21.85	9	1.69	25	8
Laguna la Herrera (R)	258.49	11	1.34	20	9

Wetland	Area (ha)	Number of Sampling Points	SDI	% Surrounding matrix	% Open water
Finca La Laguna (R)	2.70	2	0.28	1	94
Laguna El Salitre (R)	3.56	3	1.33	7	47
Los Laureles (R)	11.51	8	1.05	3	48
Meridor (R)	7.60	5	0.46	4	91
Neuta (SR)	18.52	7	1.43	48	2
Santa María del Lago (U)	5.42	4	1.24	86	31
Tibanica (SR)	18.98	6	1.31	55	1
Tibitoc (R)	49.19	7	1.32	15	52

2.3.3 Aquatic bird richness

We visited each wetland three times (July-August and September-October 2009, and February-March 2010), between sunrise and 10:00 h to make observations of aquatic bird presence. We went round the external limits of each wetland recording the species heard or observed with binoculars and used recorded songs of *Cistothorus apolinari* and *Rallus semiplumbeus* because these are shy species and difficult to detect visually. We grouped the species into foraging guilds as defined by Weller (1999), taking into account the habitat, the type of food consumed and the tactic employed to take it. We recognized the following eight guilds: shoreline walkers that consume invertebrates on mud or bare soil (SWI); walkers on aquatic vegetation that consume invertebrates and plants (VWP); flight feeders that plunge for fish (FFF); surface swimmers that occasionally dive and feed mostly on invertebrates and plant material (SSI); perchers on emergent vegetation that glean for insects or catch them with short flights (PEV); waders/waiters that feed on invertebrates and fish stalking and striking (WAF); waders that probe in mud for invertebrates (WPI); and benthic divers that consume mainly invertebrates (BDI).

2.3.4 Statistical and comparative analysis

We conducted a cluster analysis and constructed a dendrogram using the Statgraphics software (StatPoint, 2007) to visualize how wetlands relate to each other according to their physicochemical characteristics (conductivity, oxygen saturation percentage and pH). In this analysis we employed the Euclidean squared distance and the nearest neighbor conglomeration method. Because water temperature variation can simply be the result of daily changes in air temperature, cloudiness, wind and relative humidity (Kadlec

& Wallace, 2009), we excluded that variable from the cluster analysis and the principal component analysis.

We used a Spearman multiple correlation analysis to analyze the relationships between physicochemical variables and the open water percentage, the percentage of the surrounding matrix covered by manmade structures and the Shannon habitat diversity index established for each wetland in a previous study (Table 2-1) (Rosselli, 2011). In this case, we adjusted the significance level with the Bonferroni correction for multiple comparisons (Quinn & Keough, 2002).

We conducted a principal component analysis (PCA) using a correlation matrix and including our conductivity, oxygen saturation percentage and pH data corresponding to each sampling point in each wetland, to assess environmental heterogeneity in and between wetlands. We used PAST (Hammer et al., 2001) and Statistix software (Analytical Software, 2003) to conduct the PCA and the multiple correlation analysis.

To establish what implications our study had for aquatic bird fauna, we assessed if there is a relation between the physicochemical characteristics of the wetlands we studied and the total and by-guild aquatic bird richness by means of a canonical correspondence analysis (CCA) (ter Braak, 1986; ter Braak & Verdonschot, 1995). This analysis shows patterns in multivariate data and in this case, allowed us to see how species respond simultaneously to water physicochemical conditions. We established the significance of the relationship between species and environmental variables using a Monte Carlo test with 999 permutations. The CCA was conducted with CANOCO version 4.5 (ter Braak & Smilauer, 2002).

2.4 Results

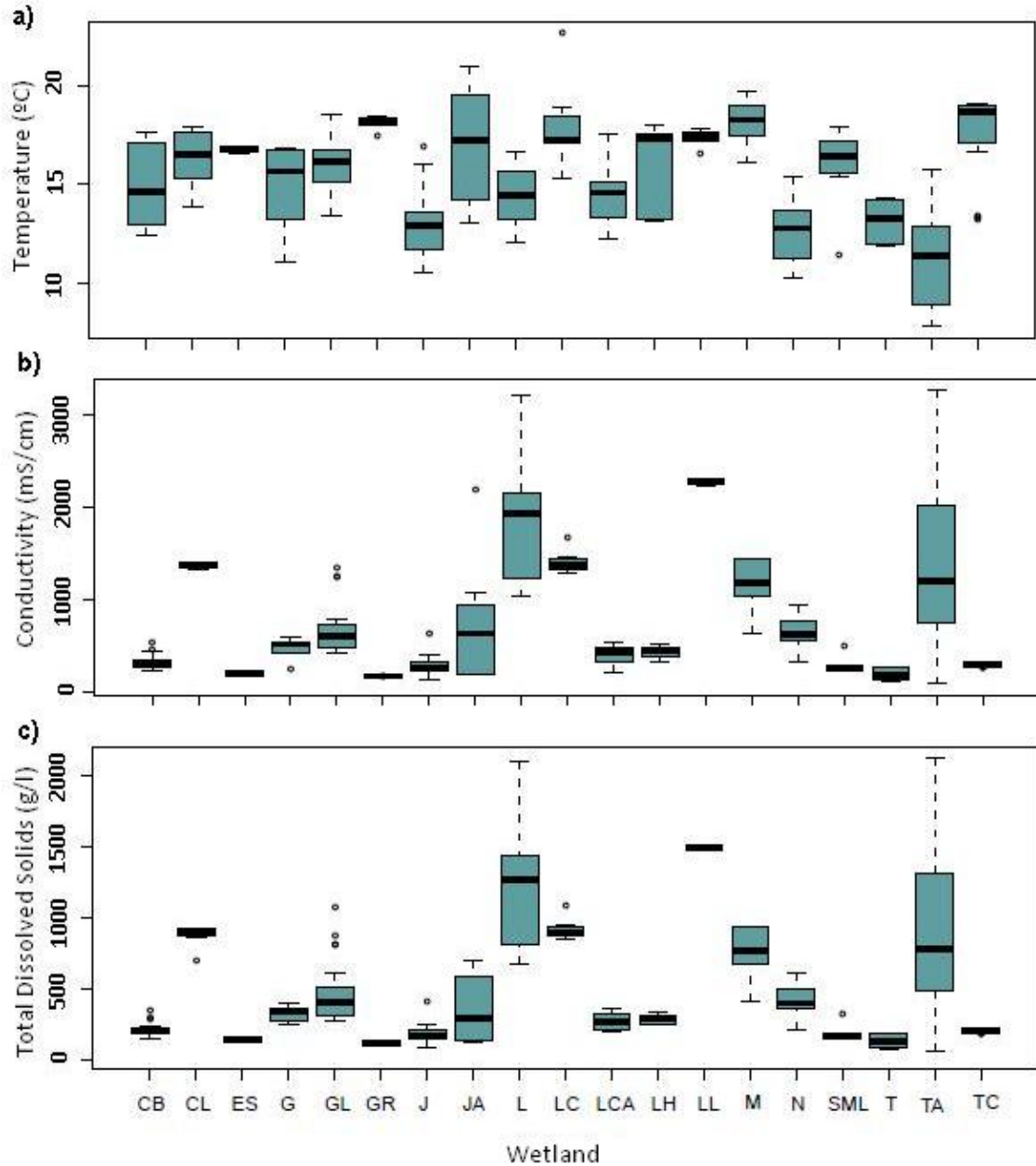
2.4.1 Physicochemical variables

The lowest temperature values were registered in Tibanica, where temperature reached 8°C (Figure 2-1 a). Generally, the average ranged between 14 and 18°C, although in Neuta and Tibanica the average ranged between 11 and 12 °C, and in Meridor it was very close to 19°C. A great variability in water temperature was observed in most wetlands, except for El Salitre, Gravilleras and finca La Laguna (Figure 2-1 a).

We registered the highest conductivity values (Figure 2-1 b) in Los Laureles, finca La Laguna, Meridor, Ceuta Luisiana, La Colina and Tibanica, with average conductivities of over 1000 mS cm^{-1} . The average conductivity was lower than 670 mS cm^{-1} in the other wetlands, reaching the lowest values in Torca and Gravilleras, with 192.9 and 171.0 mS cm^{-1} , respectively (Figure 2-1 b).

Total dissolved solids (Figure 2-1 c) were on average also higher in Los Laureles, finca La Laguna, Meridor, Ceuta Luisiana, La Colina and Tibanica, with values above 850 g l^{-1} . The rest of the wetlands did not present values higher than 500 g l^{-1} , and Torca, El Salitre, Gravilleras, Tibitoc, Jaboque and Santa María del Lago presented a total dissolved solids average between 100 and 200 g l^{-1} . In this case, most wetlands presented little variation between sampling points, although in Juan Amarillo, Los Laureles, and Tibanica we observed a greater heterogeneity between points (Figure 2-1 c).

Figure 2-1. Temperature (a), conductivity (c) and total dissolved solids (c) in 19 Bogotá area wetlands. Whiskers extend to the most extreme point that does not exceed the box interquartile range by more than 1.5 times. CB: Córdoba; CL: Ceuta Luisiana; ES: Laguna El Salitre; G: Guaymaral; GL: Gualí; GR: Gravilleras; J: Jaboque; JA: Juan Amarillo; L: Los Laureles; LC: La Colina; LCA: La Conejera; LH: Laguna La Herrera; LL: La Laguna; M: Meridor; N: Neuta; SML: Santa María del Lago; T: Torca; TA: Tibanica; TC: Tibitoc

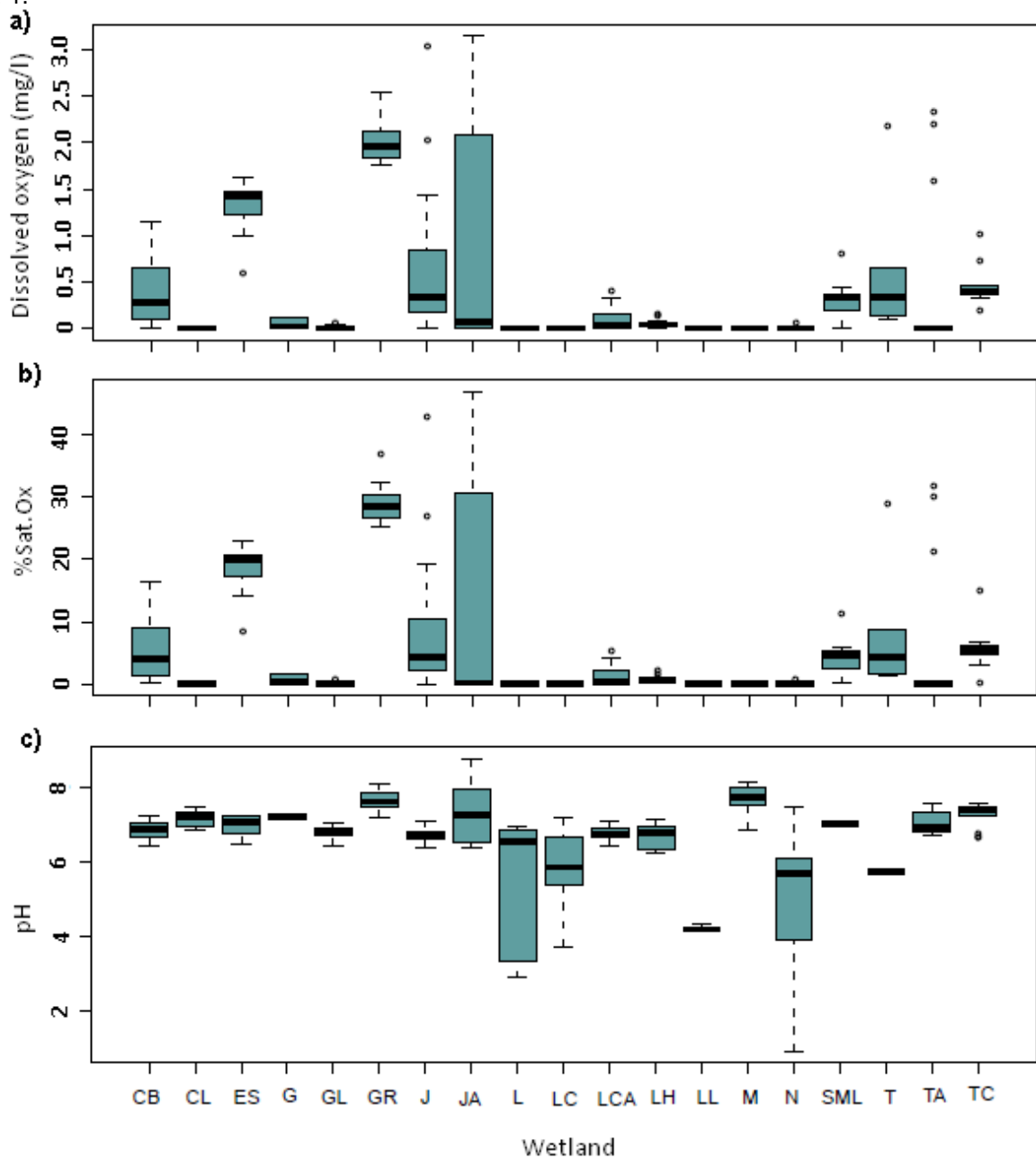


In most wetlands the dissolved oxygen concentration and the average oxygen saturation percentage had very low values. The average dissolved oxygen was lower than 1 mg l^{-1} in almost all wetlands, the exceptions being Laguna El Salitre and Gravilleras, which presented average values of 1.3 y 2.0 mg l^{-1} , respectively. The dissolved oxygen variability was high in Córdoba, Jaboque, Juan Amarillo and Torca, and almost inexistent

in most other wetlands (Figure 2-2 a). Oxygen saturation ranged between 0 and 8.5%, the lowest value corresponding to Los Laureles, finca La Laguna, Meridor, Ceuta Luisiana and La Colina with 0%. This parameter presented considerable variability in most wetlands (Figure 2-2 b).

In fourteen wetlands, the average pH ranged between 6 and 7 units and we found pH averages between 4 and 5.7 in finca La Laguna, Torca and La Colina. The lowest pH averages were for Los Laureles (3.5) and Neuta (2.2). In the latter wetland we recorded very low values at some points, such as 0.9, 1.9 and 3. The pH variability was small between sampling points of most wetlands, except for Juan Amarillo, Los Laureles, La Colina and Neuta (Figure 2-2 c).

Figure 2-2: Dissolved oxygen (a), oxygen saturation percentage (b) and ph in Bogotá area wetlands. Whiskers extend to the most extreme point that does not exceed the box interquartile range by more than 1.5 times the abbreviations of wetlands correspond to those defined in Figure 2-1.



The correlation analysis revealed a positive correlation between conductivity and total dissolved solids, and a negative correlation between these variables and oxygen (Table 2-2). The habitat Shannon diversity index correlated negatively with open water percentage. We did not find any significant relation between wetland area or percentage of the surrounding matrix covered by manmade structures and water quality parameters

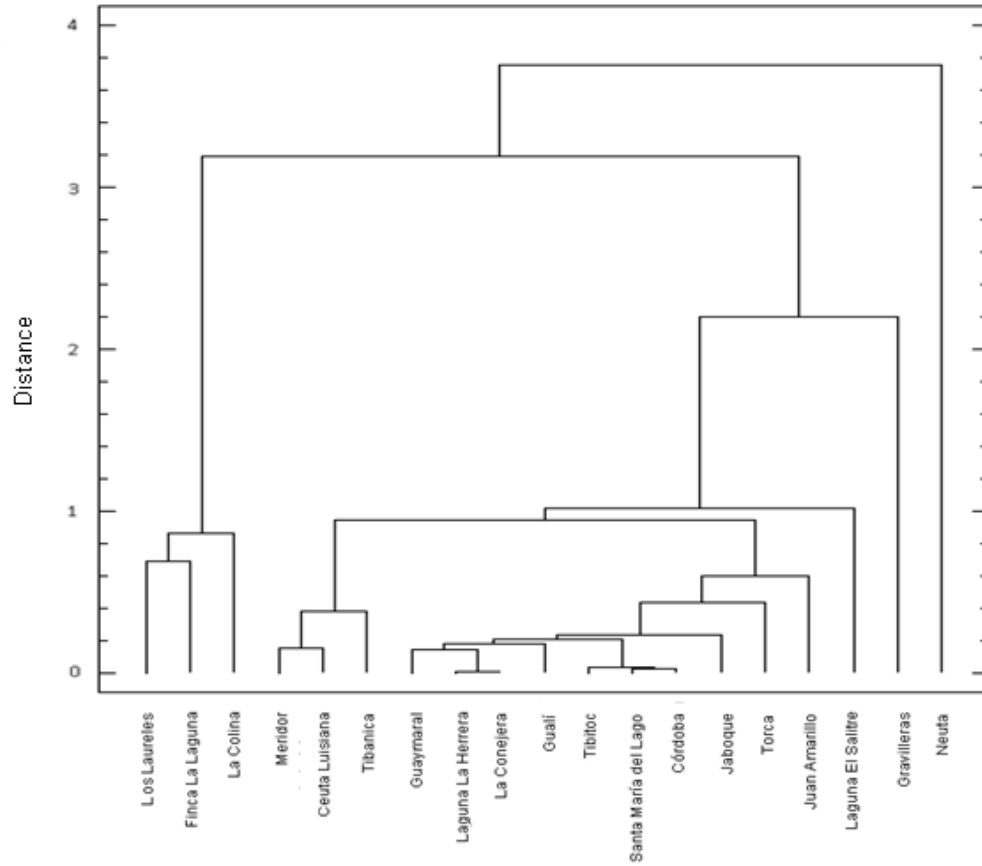
(Table 2-2). Because of the high correlation between conductivity and total dissolved solids (Table 2-2), we excluded total dissolved solids from the rest of the analysis.

Table 2-2: Non parametric correlation matrix of six physicochemical variables and other characteristics of 19 Bogotá area wetlands. Asterisks indicate significant correlations ($p < 0.0012$) after the Bonferroni correction. Temperature correlations with open water percentage, surrounding matrix covered by manmade structures and the SDI; and the correlation between dissolved Oxygen and Oxygen saturation percentage were excluded because they are not considered to be relevant. TDS: total dissolved solids; DO: dissolved oxygen; SDI: Shannon habitat diversity index.

	Temp. (°C)	Cond.(mS cm ⁻¹)	TDS (g l ⁻¹)	% Sat.Ox	DO(mg l ⁻¹)	pH	SDI	% Surrounding matrix	% Open Water
Cond.(mS cm ⁻¹)	0.05								
TDS (g l ⁻¹)	0.07	0.99*							
% Sat.Ox	-0.07	-0.84*	-0.85*						
DO (mg l ⁻¹)	-0.09	-0.83*	-0.84*						
pH	0.43	-0.34	-0.32	0.32	0.32				
SDI	-0.52	-0.25	-0.27	0.28	0.28	-0.27			
% Surrounding matrix		-0.26	-0.25	0.37	0.37	0.02	0.33		
% Open Water		0.23	0.24	-0.26	-0.27	0.28	-0.74*	-0.48	
Area (ha)		-0.11	-0.13	0.24	0.24	0.02	0.66	0.40	-0.52

The cluster analysis showed a disgregation of Neuta, in terms of conductivity, oxygen saturation percentage and pH, from the rest of the wetlands. Los Laureles, finca La Laguna, and La Colina formed a group apart from the rest of the wetlands. In the other group, Gravilleras, followed by Laguna El Salitre, were disgregated from the thirteen remaining wetlands (Figure 2-3).

Figure 2-3: Dendrogram obtained from a cluster analysis of the pH, conductivity and oxygen saturation percentage values of 19 Bogotá area wetlands.



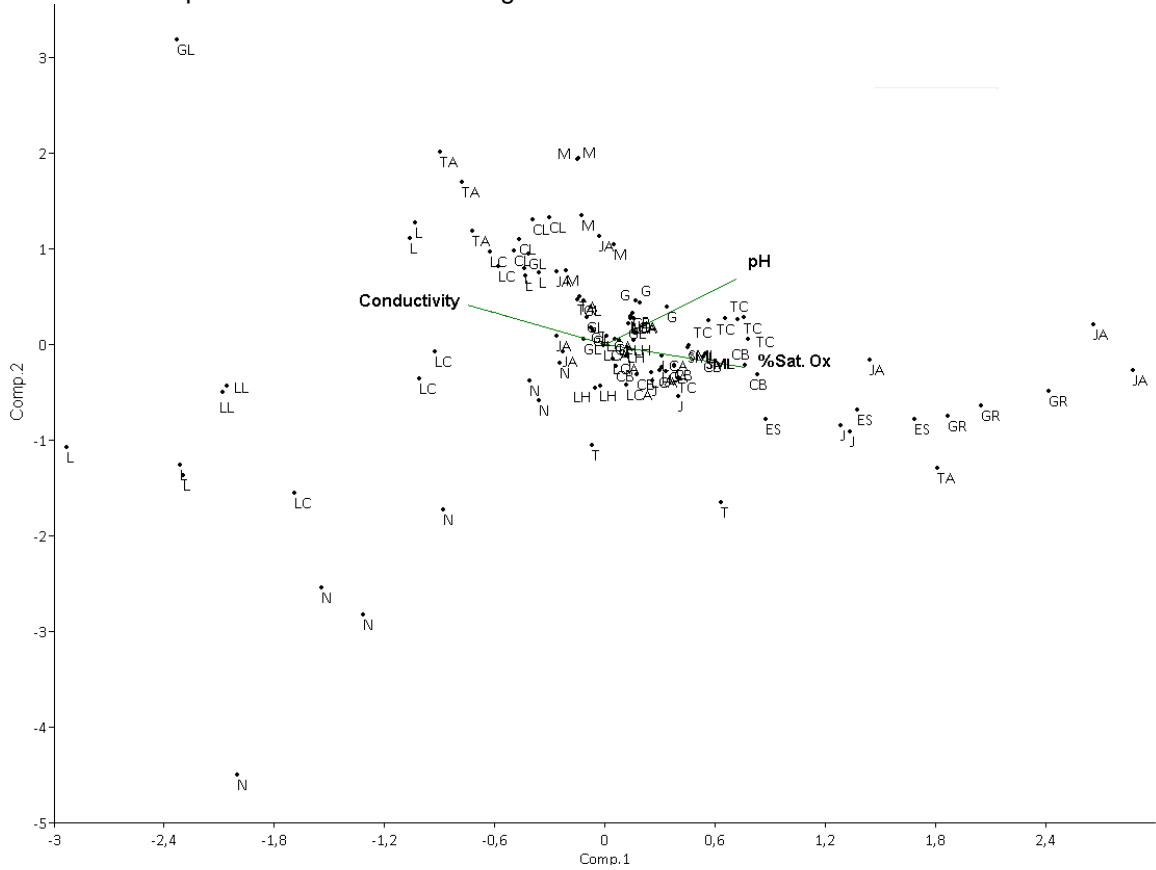
In the PCA, the first two components explained 78.9% of the total variation in the water physicochemical parameters (55.4% and 23.5%, respectively). The first axis was negatively associated with conductivity and positively associated with oxygen saturation percentage and pH (Table 2-3). On the second axis, most of the variation was explained by pH (positive correlation; Table 2-3). Oxygen saturation percentage and conductivity were also highly associated with the third component (positive correlations; Table 2-3).

Table 2-3: Correlations between the physicochemical variables and the first three components extracted from a PCA conducted to assess the environmental heterogeneity in and between 19 Bogotá area wetlands.

Variable	Component 1	Component 2	Component 3
Conductivity (mS cm^{-1})	-0.58	0.50	0.64
% Oxygen saturation	0.59	-0.28	0.75
pH	0.56	0.82	-0.13

The dispersion of sampling points on the PCA biplot showed a considerable heterogeneity in the physicochemical characteristics of several wetlands, specifically in La Colina, Neuta, Juan Amarillo, Gualí, Jaboque and Los Laureles (Figure 2-4). In fact, we found that some sampling points in these wetlands were located closer to sampling points of different wetlands than to sampling points from the same wetland. La Conejera, Córdoba, Tibitoc, La Herrera, and Gualí (except for one sampling point) showed more homogeneous conditions, and most of their zones are related to average oxygen, pH and conductivity values. Some points in Juan Amarillo are also related to these average values. La Laguna and Neuta were associated with low values on the first and the second axis, and thus share high conductivity and low pH values. With respect to pH, the sampling points in Los Laureles and La Colina split into two groups that shared high conductivity values but differed strongly in pH values that were low vs. near to neutrality. Meridor, Ceuta Luisiana and Guaymaral showed the most alkaline conditions (although their pH values never reached 9 units). Tibanica presented high conductivity levels, average pH values and a low oxygenation of its waters. Gravilleras, Jaboque, Tibitoc, El Salitre, and some points in Juan Amarillo shared comparatively low mineralization levels and presented the most oxygenated conditions. The third sampling point in Gualí occupied an extreme place on the PCA biplot, which corresponds to very high conductivity values and low oxygen levels.

Figure 2-4: PCA plot showing the relative position of each sampling point of the nineteen wetlands and three physicochemical variables. %sat.ox: oxygen saturation percentage. The abbreviations of wetlands correspond to those defined in Figure 2-1.



2.4.2 Aquatic bird richness

In the nineteen wetlands studied we recorded a total of 39 aquatic bird species belonging to 32 genera and 15 families (Table 2-4). Two of these species (*Rallus semiplumbeus* and *Cistothorus apolinari*) and three subspecies (*Ixobrychus exilis bogotensis*, *Gallinula melanops bogotensis* and *Chrysomus icterocephalus bogotensis*) are endemic to the Cundinamarca-Boyacá wetland complex and eleven are migratory.

Table 2-4: Aquatic bird species of each guild registered in nineteen bogotá area wetlands. For abbreviations of guilds, see text. E: endemic species; m: migratory species.

Family	Species	Guild							
		SWI	VWP	FFF	SSI	PEV	WAF	WPI	BDI
Anatidae	<i>Dendrocygna autumnalis</i>				x				
	<i>Anas flavirostris</i>				x				
	<i>Anas discors</i> ^m				x				
	<i>Aythya affinis</i>				x				
	<i>Nomonyx dominicus</i>				x				

Family	Species	Guild							
		SWI	VWP	FFF	SSI	PEV	WAF	WPI	BDI
	<i>Oxyura jamaicensis</i> ^e				x				
Podicipedidae	<i>Podilymbus podiceps</i>								x
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>								x
Ardeidae	<i>Ardea alba</i>						x		
	<i>Egretta caerulea</i>						x		
	<i>Egretta thula</i>						x		
	<i>Bubulcus ibis</i>						x		
	<i>Butorides striata</i>						x		
	<i>Butorides virescens</i> ^m						x		
	<i>Ixobrychus exilis bogotensis</i> ^e						x		
	<i>Nycticorax nycticorax</i>						x		
Threskiornithidae	<i>Phimosus infuscatus</i>								x
Pandionidae	<i>Pandion haliaetus</i> ^m			x					
Rallidae	<i>Rallus semiplumbeus</i> ^e		x						
	<i>Porzana carolina</i> ^m		x						
	<i>Porphyrio martinica</i>		x						
	<i>Gallinula chloropus</i>		x						
	<i>Gallinula melanops bogotensis</i> ^e				x				
	<i>Fulica americana</i>				x				
Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i>	x							
Scolopacidae	<i>Gallinago nobilis</i>								x
	<i>Tringa melanoleuca</i> ^m	x							
	<i>Tringa flavipes</i> ^m	x							
	<i>Tringa solitaria</i> ^m	x							
	<i>Actitis macularius</i> ^m	x							
	<i>Calidris bairdii</i> ^m	x							
	<i>Calidris melanotos</i> ^m	x							
Jacaniidae	<i>Jacana jacana</i>		x						
Tyrannidae	<i>Serpophaga cinerea</i>					x			
	<i>Pseudocolopteryx acutipennis</i>					x			
Troglodytidae	<i>Cistothorus apolinari</i> ^e					x			
Emberizidae	<i>Sicalis luteola</i>					x			
Parulidae	<i>Seiurus noveboracensis</i> ^m	x							
Icteridae	<i>Chrysomus icterocephalus bogotensis</i> ^e					x			
	Species total by guild	8	5	1	8	5	8	2	2

The guilds represented by a greater number of species (8) were SWI, SSI and WAF; only *Pandion haliaetus* was recorded for the FFF guild.

We observed the greatest number of aquatic bird species, in a range of 20 to 28 species, in La Conejera, Ceuta, La Colina, Gualí, La Herrera, Jaboque, Juan Amarillo, Meridor, Tibanica and Tibitoc. In Torca we registered the lowest species number (7), and the richness ranged between 11 and 18 species in the remaining wetlands (Table 2-5). In Ceuta, La Colina, Santa María del Lago and Tibitoc, the most representative guild was WAF; in Humedal Córdoba, Juan Amarillo, Los Laureles, Meridor and Tibanica the most representative guild was SWI. The FFF guild corresponding to one species was observed only in seven wetlands; the SSI and SWI guilds were the most representative in Gualí, Guaymaral, Jaboque, finca La Laguna and Neuta. For the WAF guild we recorded the greatest species number at Ceuta, La Colina and Tibitoc. The WPI and BDI guilds, both including just two species were observed in 13 and 12 of the wetlands, respectively (Table 2-5).

Table 2-5: Total and by-guild aquatic bird species richness in 19 Bogotá area wetlands. For abbreviations of guilds, see text.

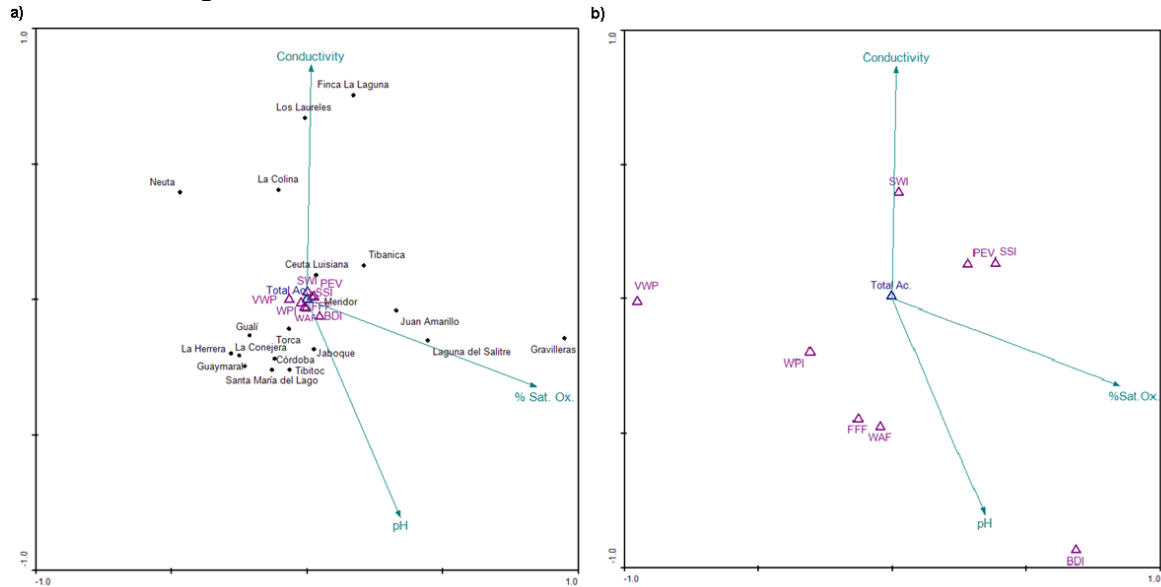
Wetland / Guild	SWI	VWP	FFF	SSI	PEV	WAF	WPI	BDI	Aquatic birds total
Ceuta Luisiana	4	2	1	4	2	5	1	2	21
La Colina	2	3	1	3	2	6	1	2	21
La Conejera	4	4	0	5	3	5	2	1	24
Córdoba	6	2	0	4	2	3	0	1	18
Gravilleras	3	0	0	5	2	3	1	1	15
Gualí	5	4	0	5	3	1	2	0	20
Guaymaral	4	2	0	4	2	1	1	0	14
Laguna La Herrera	6	3	1	4	2	6	2	1	25
Jaboque	6	4	1	6	3	5	2	1	28
Juan Amarillo	5	3	1	2	4	4	1	1	21
Finca La Laguna	4	1	0	4	2	1	1	0	13
Los Laureles	7	2	0	4	3	1	0	0	17
Meridor	5	2	1	4	3	4	0	1	20
Neuta	4	3	0	4	2	3	1	0	17
Laguna El Salitre	3	1	0	5	2	3	0	1	15
Santa María del Lago	2	2	0	2	1	3	0	1	11
Tibanica	7	4	0	4	3	2	2	0	22
Tibitoc	4	2	1	4	4	6	1	2	24
Torca	2	2	0	0	2	1	0	0	7

2.4.3 Water quality relationship to aquatic bird richness

The CCA showed that in the nineteen wetlands neither total nor by-guild aquatic bird richness relate significantly to the environmental variables included in the analysis (pH, conductivity and oxygen saturation percentage; $p > 0.05$ for all variables). These variables explained only 1.1% of the variation in aquatic bird species richness ($p > 0.05$). For the first axis, the correlation coefficient between the aquatic bird species number and the above-mentioned environmental variables was 0.590, and for the second axis it was 0.309. The first axis explained only 0.5% of the variation in the species-environment relationship, and the second axis, 0.4%. The CCA plot (Figure 2-5 a) shows that the symbols representing the species number of all bird guilds and of the aquatic birds total are located near the origin of three physicochemical variables vectors, which implies that species richness is more related to average pH, conductivity and oxygen saturation percentage values.

Even though they are not statistically significant, it is possible to visualize more clearly some guild diversity patterns in relation to the environmental variables by excluding wetlands from the ordination diagram (Figure 2-5 b). This way it is observed that a greater number of species of shore walkers and invertebrate consumers (SWI) is associated with relatively high mineralization levels. On the other hand, wader (WPI and WAF) species richness and the aerial predator (FFF) are associated with less mineralized waters which have a comparatively greater pH. Diver (BDI) species richness increases with higher pH and oxygen values. The species numbers of swimmers that occasionally dive or wade (SSI) and of birds which perch on aquatic vegetation (PEV) are related to near average pH, oxygen and conductivity values. Aquatic vegetation walker (VWP) richness showed a very different pattern because it was located on the left side of the ordination diagram, which is associated with very low oxygen levels. Total aquatic bird richness did not relate in any way to the environmental variables.

Figure 2-5: CCA plots showing the relationship between by-guild aquatic bird richness (purple triangles), total aquatic bird richness (blue triangle) and the average values of three environmental variables (ph, conductivity and oxygen saturation percentage (% Sat.Ox)) in 19 Bogotá area wetlands (points). Neither by-guild nor total aquatic bird species richness showed a significant relationship with the physicochemical variables ($p > 0.05$ for all variables with a monte carlo test with 999 permutations). Wetlands were excluded from the plot on the right (b) for a better visualization of the patterns of variation of guild richness in relation to environmental variables. For abbreviations of guilds, see text.



2.5 Discussion

2.5.1 Physicochemical variables

The high conductivity values we recorded in Los Laureles, finca La Laguna, Meridor, Ceuta Luisiana, Tibanica and La Colina suggest that these wetlands have low quality waters (EAAB & CIC, 2003a; Roldán & Ramírez, 2008), and contrast with the relatively low mineralization levels we observed in the three urban wetlands (Córdoba, Juan Amarillo and Santa María del Lago), and could be caused by a great input of sewage loaded with nutrients originated from agricultural sources (UNESCO et al., 1996; Keddy, 2010). This type of mineralized waters may not be fit for the persistence of various fish and macroinvertebrate species (EPA, 2010), which could be related to the high fish mortality we observed in Meridor in August 2009. Despite the fact that total dissolved solids are a fundamental characteristic of the quality of any body of water (UNESCO et al., 1996), we did not find clear reference values with which to compare our observations. However, the

same interpretation given to conductivity can be given to total dissolved solids, because of the high correlation found between these variables.

In broad terms, the wetlands we studied have waters too poor in oxygen for the preservation of their biodiversity, because the dissolved oxygen did not exceed 3.15 mg l^{-1} in any case (UNESCO et al., 1996), and in most sampling points of all wetlands it was close to 0 mg l^{-1} . In fact, in Los Laureles, finca La Laguna, Meridor, Ceuta Luisiana and La Colina we observed anoxic conditions. The waters of most wetlands present, on average, sub-saturation conditions of oxygen concentration as well (Roldán & Ramírez, 2008), with values ranging from 0% to 29% (Laguna El Salitre and Gravilleras, respectively).

The low pH values found in some sampling points of three wetlands (Los Laureles, finca La Laguna, and La Colina) are probably associated with the high organic content and low pH typical of the Sabana de Bogotá soils (van der Hammen, 2003), or with punctual inputs loaded with domestic, industrial waste and/or agricultural runoff, since these sources of pollution can cause the acidification of water (Solomon et al., 1996; Hooda et al., 2000). The extreme values recorded in a sector of Neuta wetland, where low pHs have been found in the past, can be explained by the high levels of antropogenic related contamination that have been reported in the area (González & Vargas, 1997). However it is necessary to establish the causes of the water acidity at these points, due to the negative effects it can be having on the biota, for example, in terms of fish extinctions (Moiseenko & Sharova, 2006), and changes in the plankton community composition and structure (Cole, 1994). In contrast to the above-mentioned acidity, the fifteen remaining wetlands presented a pH closer to neutrality, with an average ranging between 6.5 and 7.6 units.

Our results agree with previous studies conducted at some of the wetlands we assessed. Previously, oxygen levels lower than 5 mg l^{-1} were reported in Guaymaral, Torca, La Conejera, Juan Amarillo, Santa María del Lago (EAAB & CIC, 2003a; Galindo, 2008; van der Hammen et al., 2008), Gualí, La Herrera and Meridor (Vásquez et al., 2006). Similar results for conductivity were found in Jaboque (EAAB & CIC, 2003a); La Conejera (Galindo, 2008); and Juan Amarillo (where wide conductivity ranges, from 130 to 1500 mS cm^{-1} had also been observed; EAAB & CIC, 2003a). However, very low conductivity values (0.2 to 0.5 mS cm^{-1} ; EAAB & CIC, 2003a) have also been reported in Córdoba in contrast to our study, which suggests that their affluent conditions may have changed.

Previous studies in Bogotá wetlands have reported pH values close to neutrality (EAAB & CIC, 2003a; Vásquez et al., 2006; Galindo, 2008; van der Hammen et al., 2008), as we also found. However, our results must be complemented with studies extended in time that allow establishing the temporal variability in water physicochemical conditions, to obtain more generalizable results.

The extreme low oxygen levels we found in all the wetlands studied, as well as the high conductivity and the low pH of some of their waters can be explained by the great inputs of nutrients, sediments and pollutants these ecosystems receive through the waters that feed them, as well as by the high eutrophication levels that characterize many of them (Medellín & Gutiérrez, 2003; van der Hammen et al., 2008). This explanation in the case of the oxygen is justified by the high oxygen demand in organic matter decomposition (Wetzel, 1981; Roldán & Ramírez, 2008). The low pH can be explained by carbon dioxide production from respiratory processes, because an increase in CO₂ concentration causes an increase in acidity (Wetzel, 1981; Roldán & Ramírez, 2008). The negative correlation of dissolved oxygen with total dissolved solids and conductivity also supports these ideas, since minerals dissolved in water reduce its oxygen retention and absorption capacity (Cole, 1994).

Two important affectation factors in Jaboque are the organic matter input through sewage, and the hydric contamination caused by bovine and equine grazing (Arcos & Gómez, 2006). Santa María del Lago, on the other hand, suffers greater pressures because it is completely surrounded by urban complexes and receives sewage mixed with waste oils from repair shops (EAAB & CIC, 2003a). In La Conejera, polluted water types are more varied and include agricultural, domestic (originating from an important number of neighborhoods) and hospitalary sewage (EAAB & CIC, 2003a). The pressures exerted by neighboring urbanizations on wetlands such as Juan Amarillo, Tibanica, Santa María del Lago and La Conejera result in a more direct pollution from garbage, discharge of solid and liquid residuals, and disposal of construction materials (EAAB & CIC, 2003a). So, even though these wetlands are similar in terms of some of their physicochemical characteristics, the differences they present in terms of location, affectation time and history, hydroclimatic and morphometric conditions, and the type of settlements that surround them determine a level and type of degradation that is characteristic of each of them (van der Hammen et al., 2008).

We expected rural wetlands to have better quality waters than urban wetlands, since the latter can be more affected by the direct domestic and industrial residual disposal that is associated with urbanization processes (EAAB & CIC, 2003a). Contrary to this, we observed neither a significant correlation between the percentage of the surrounding matrix covered by manmade structures and the physicochemical parameters, nor an apparent dissociation of urban, semirural and rural wetlands in relation to the physicochemical variables (Figure 2-4). This might reflect the pressures exerted on rural ecosystems by the use of fertilizers and pesticides, pollution by cattle excrements (mainly in the form of organic matter and excess nutrients) and the pollutants transported by the waters that feed them (UNESCO et al., 1996; EAAB & CIC, 2003a; Arcos & Gómez, 2006).

The low oxygen levels found in all the wetlands and the high conductivity levels found in many of them once again make evident their severely degraded state (in spite of the management efforts conducted in many of them; EAAB & CIC, 2003a), and imply high risk conditions for human health and for the biota found in these ecosystems and their surroundings (EAAB & CIC, 2003a). Additionally, wetland deterioration provokes the loss of many of the ecosystem services they provide (EAAB & CIC, 2003a), one of the most important being the collecting and filtering of the pollutants that reach their waters (Vásquez et al., 2006).

2.5.2 Water quality relationship to aquatic bird richness

Contrasting results concerning the effects that water quality can have on aquatic bird presence have been reported for different wetland ecosystems. In some cases this effects have not been clearly established (Walsh et al., 2006), while in other cases water quality strongly influenced bird diversity (Galindo, 2008) and reproduction (Glooschenko et al., 1986; Henny et al., 2008). In some cases, particular species have even shown greater abundances in polluted waters (Figuerola & Green, 2003).

Although we did not find a significant relationship between pH, conductivity, dissolved oxygen and aquatic bird species richness, there may be indirect effects of water quality on aquatic bird species richness through elements such as the food sources of aquatic birds (i.e. vegetation, fish and invertebrates; Staicer et al., 1994; Longcore et al., 2006; Walsh et al., 2006; Galindo, 2008; van der Hammen et al., 2008).

Moreover, guild richness may be responding to limnological variables we did not measure, such as those indicative of the trophic state of water bodies (e.g. nitrogen and phosphorous), which can be very important in determining the presence, absence and density of some aquatic birds (Staicer et al., 1994; Longcore et al., 2006). Additionally, in Bogotá's wetlands other factors such as hydric input decrease, dredging, the excavation of very deep channels and the interruption of connections between wetlands by blocking their course may also negatively affect the fauna (van der Hammen et al., 2008).

Because of their isolation from other high Andean wetlands, Bogotá Plateau's ecosystems are occupied largely by endemic bird species, many of which have very small populations and are at risk of extinction (van der Hammen et al., 2008). The local extinctions and population declines of various bird species in the wetlands of this area parallel the historic declines in wetland area and probably, in water quality (ABO, 2000; EAAB & CIC, 2003a; van der Hammen et al., 2008). Therefore, our results cannot rule out the existence of a relationship between wetland water quality and bird species richness. Additionally, the Bogotá area wetlands are important passage routes for several migrant waterbirds (ABO, 2000), which implies that the arrival of these species could be affected by the deterioration of the water quality in these ecosystems.

As we analyzed by-guild aquatic bird diversity only in terms of the species number, and the total richness did not show a considerable variation between wetlands, a diversity index that also incorporates relative abundances might have shown a clearer relationship between aquatic birds and the physicochemical characteristics of water.

2.6 Acknowledgements

We thank M. I Castro, J. C. Donato, S. Gaviria and A. Ramírez for their help with the analysis and interpretation of the limnological data. F.G. Stiles accompanied us in the field, revised the manuscript and made valuable suggestions through all the study. D. Cadena also revised the manuscript and gave us his commentaries. M. Villaneda accompanied and assisted us in the field. S. Morales helped us with part of the sampling.

We thank the support and collaboration of the Empresa de Acueducto de Bogotá, and the owners, administrators and neighbors of the wetlands for their help, their company and their kind welcome, in particular A. Páez, A. Paz, A. Phillips, B. López, C. Gómez, C.

Hernández, D. Vélez, G. de Matallana, H. Medellín, J. V. Sánchez, L. Rivera, N. C. Gómez, M. Gómez, P. Camargo, S. Maldonado, Asociación de Propietarios de Meridor, DISNISSAN, Fundación ADESSA, Fundación ALMA, Fundación FIDHAP and the Fundación Humedal la Conejera. The Diatom Laboratory of the Universidad Nacional de Colombia provided the multimetric probe used in the measurement of physicochemical variables. This investigation was partially funded by the Vicerrectoría de Investigación Sede Bogotá of the Universidad Nacional de Colombia. Idea Wild donated part of the equipments used.

2.7 References

- Analytical Software, 2003. Statistix 8. Version 8.0.
- Andrade, M.E. & H. Benitez, 2003. Los Humedales de la Sabana de Bogotá : Área Importante para la Conservación de las Aves de Colombia y el Mundo. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt: 38 pp.
- Arcos, M.P. & A.C. Gómez, 2006. Microalgas perifíticas como indicadoras del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. NOVA 4: 60-80.
- Asociación Bogotana de Ornitología (ABO), 2000. Aves de la Sabana de Bogotá, guía de campo. ABO, CAR, Bogotá: 276 pp.
- Ávila, S.L. & S.M. Estupiñán, 2006. Calidad bacteriológica del agua del humedal de Jaboque, Bogotá, Colombia. Caldasia 28: 67-78.
- Bobbink, R., B. Beltman, J.T. Verhoeven & D.F. Whigham, 2006. Wetlands: Functioning, Biodiversity Conservation and Restoration. Springer-Verlag, New York: 315 pp.
- Cole, G.A., 1994. Textbook of Limnology. Fourth Edition. Waveland Press, Inc., Illinois: 412 pp.
- Dar, I.A. & M.A. Dar, 2009. Seasonal Variations of Avifauna of Shallabug Wetland, Kashmir. Journal of wetlands ecology 2: 20-34.
- de Jonge, V., M. Elliott & E. Orive, 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. Hydrobiologia 475-476: 1-19.
- EAAB (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) & CIC (Conservación Internacional Colombia), 2003a. Humedales Bogotanos: Síntesis del estado actual

- de los humedales. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y Conservación Internacional Colombia, Bogotá: 279 pp.
- EAAB (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) & CIC (Conservación Internacional Colombia), 2003b. Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Volumen 2. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y Conservación Internacional Colombia, Bogotá: 271 pp.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2010. Conductivity. Recovered from <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms59.cfm>.
- Figuerola, J. & A.J. Green, 2003. Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales. Universidad de la Rioja, España: 14 pp.
- Fjeldså, J., 1985. Origin, evolution, and status of the avifauna of Andean wetlands. *Ornithological Monographs* 36: 85-112.
- Galindo, L.N., 2008. Efecto de la restauración hidrogeomorfológica sobre la calidad del agua, los macroinvertebrados acuáticos y la riqueza y abundancia de la avifauna en tres sectores del humedal La Conejera, Bogotá. Tesis de grado. Universidad de los Andes, Bogotá: 54 pp.
- Garzón, A., 2006. Plan de restauración y manejo ambiental para las lagunas de Meridor. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt: 152 pp.
- Glooschenko, V., P. Blancher, J. Herskowitz, R. Fulthorpe & S. Rang, 1986. Association of wetland acidity with reproductive parameters and insect prey of the Eastern Kingbird (*Tyrannus tyrannus*) near Sudbury, Ontario. *Water, Air & Soil Pollution* 30: 553-567.
- González, L.M. & O. Vargas, 1997. Estudio de la movilización de contaminantes en suelos de la Sabana de Bogotá. I Fase Metales Pesados. Informe Proyecto P96Q04. INGEOMINAS, Bogotá: 80 pp.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper & P.D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9 pp.
- Henny, C.J., T.W. Anderson & J.J. Crayon, 2008. Organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, metals, and trace elements in waterbird eggs, Salton Sea, California, 2004. *Hydrobiologia* 604: 137-149.
- Horner, R.R. , 2001. In Azous, A.L. & R.R. Horner (eds), *Wetlands and Urbanization. Implications for the future*. CRC Press, Florida: 3-28.

- Hooda, P.S., A.C. Edwards, H.A. Anderson & A. Miller, 2000. A review of water quality concerns in livestock farming areas. *The Science of the Total Environment* 250: 143-167.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 1998. Hacia la conservación de los humedales de Colombia: bases científicas y técnicas para una política nacional de humedales. *Biosíntesis* 9: 1-4.
- Kadlec, R.H. & S.D. Wallace, 2009. *Treatment Wetlands*. Second Edition. CRC Press, Boca Raton, FL: 1016 pp.
- Keddy, P., 2010. *Wetland Ecology, Principles and Conservation*. Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge: 496 pp.
- Longcore, J.R., D.G. McAuley, G.W. Pendelton, C.R. Bennatti, T.M. Mingo & K.L. Stromborg, 2006. Macroinvertebrate abundance, water chemistry, and wetland characteristics affect use of wetlands by avian species in Maine. *Hydrobiologia* 567: 143-167.
- Márquez, G., 2003. *Los Humedales de Bogotá y la Sabana*. Volumen 2. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y Conservación Internacional Colombia, Bogotá: 271 pp.
- Medellín, H. & M.A. Gutiérrez, 2003. El sistema hídrico dentro de la estructura urbana de Bogotá D.C. In EAAB & CIC, 2003b. *Los Humedales de Bogotá y la Sabana*. Volumen 2. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y Conservación Internacional Colombia, Bogotá: 271 pp.
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink, 2007. *Wetlands*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey: 582 pp.
- Moiseenko, T.I. & O.N. Sharova, 2006. Physiological mechanisms of degradation of fish populations in acidified water bodies. *Russian Journal of Ecology* 37: 257-263.
- Osorio, J., E. Uribe & L.F. Molina, 1997. *Cerros, humedales y áreas rurales*. DAMA, Bogotá: 187 pp.
- Quinn, G.P & M.J. Keough, 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press, New York: 537 pp.
- Ramírez, A. & G. Viña, 1998. *Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y Estadísticas de Análisis*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá: 293 pp.
- Rodríguez, J. V., R.H. Orozco, V.H. Vásquez, B. Calvachi, J. Mendoza, R. Alvarez, G. Camacho, J.I. Hernández & U. Smith, 2000. Síntesis del estado actual de los

- humedales Bogotanos. Recuperación de los humedales de la Sabana de Bogotá: Alternativa hacia su viabilidad ecológica y social. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -ESP y Conservación Internacional Colombia , Bogotá: 192 pp.
- Roldán, G.A. & J.J. Ramírez, 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín: 440 pp.
- Rosselli, L. 2011. Factores ambientales relacionados con la presencia y abundancia de las aves de los humedales de la Sabana de Bogotá. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Bogotá.
- Sánchez, D.N. & G.D. Amat, 2005. Diversidad de la fauna de artrópodos terrestres en el humedal Jáboque, Bogotá-Colombia. *Caldasia* 27: 311-329.
- Solomon, K. R., D. B. Baker, R. P. Richards, K. R. Dixon, S. J. Klaine, T. W. La Point, R. J. Kendall, C. P. Weisskopf, J. M. Giddings, J. P. Giesy, L. W. Hall & W. M. Williams, 1996. Ecological risk assessment of atrazine in northamerican surface waters. *Environmental Toxicology and Chemistry* 15: 31-76.
- Staicer, C.A., B. Freedman, D. Srivastava, N. Dowd, J. Kilgar, J. Hayden, F. Payne & T. Pollock, 1994. Use of lakes by black duck broods in relation to biological, chemical, and physical features. *Hydrobiologia* 279-280: 185-199.
- StatPoint, Inc., 2007. STATGRAPHICS Centurion XV. Version 15.2.14.
- ter Braak, C.J.F., 1986. Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.
- ter Braak, C.J.F. & F.M. Verdonschot, 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences* 57: 255-289.
- ter Braak, C.J.F. & P. Smilauer, 2002. Canoco for Windows Version 4.5. Plant Research International, Wageningen, The Netherlands.
- UNESCO, WHO & UNEP, 1996. Water Quality Assessments : A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Second Edition. E & FN Spon, Cambridge: 609 pp.
- van der Hammen, T. 2003. Los humedales de la Sabana: origen, evolución, degradación y restauración. In EAAB (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) & CIC (Conservación Internacional Colombia), 2003. Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Volumen 1. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y Conservación Internacional Colombia, Bogotá: 264 pp.

- van der Hammen, T., G.F. Stiles, L. Rosselli, M.L. Chisacá, G. Camargo, G. Guillot, Y. Useche & D. Rivera, 2008. Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, D.C: 296 pp.
- Vásquez, C., A. Ariza, & G. Pinilla, 2006. Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. *Universitas Scientiarum* 11: 61-75.
- Walsh, K.A., D.R. Halliwell, J.E. Hines, M.A. Fournier, A. Czarnecki & M.F. Dahl, 2006. Effects of water quality on habitat use by lesser scaup (*Aythya affinis*) broods in the boreal Northwest Territories, Canada. *Hydrobiologia* 567: 101-111.
- Weller, M.W., 1999. Wetland birds, Habitat resources and conservation implications. Cambridge University Press, UK: 271 pp.
- Wetzel, R.G., 1981. Limnología. Ediciones Omega. S.A, Barcelona: 679 pp.

3. Capítulo 3. Wetland habitats of the Sabana de Bogotá Andean Highland Plateau and their birds

Loreta Rosselli¹ and F. Gary Stiles²

Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia

¹lrosselli@yahoo.com, 57-310-8552961, Cll. 109 No. 21-10, Bogotá

²fgstiles@unal.edu.co

Sometido a la revista Aquatic Conservation (Anexo C)

3.1 Abstract

The Sabana de Bogotá highland plateau is located in the eastern Andes wetland complex of Colombia, a biogeographically important and highly degraded area where little is known about the general habitat availability and requirements for wildlife based on comparative studies. We sought to identify the environmental factors that best explained the richness and composition of bird communities in the area's wetlands. Using GIS and remote images we measured landscape and local habitat variables and conducted bird censuses in 19 wetlands. We found a high variation in wetland characteristics, largely related to their urban or rural location; urban wetlands had little open water but a greater diversity of aquatic vegetation while rural wetlands were mostly open water. Both aquatic and terrestrial bird richness were associated with wetland area; guilds such as waders that probe in mud, walkers on aquatic vegetation, and shoreline walkers tended to be richer in large wetlands with extensive emergent vegetation cover. Other guilds (waders that wait to stalk, flight feeders and surface swimmers) were more related to open water area. We conclude that the remaining large wetlands should have a high priority for conservation but the set of small natural and artificial wetlands are also important in the maintenance of high habitat heterogeneity, bird populations and regional diversity.

Keywords: Sabana de Bogotá, Andean wetlands, bird communities, urbanization, conservation

3.2 Introduction

The Eastern Andes wetland complex of Colombia has been isolated from other similar highland complexes in the Andes for thousands of years since the Pleistocene and represents a major center of evolution of birds and other organisms such as fish and plants (Fjeldsa 1985, Schimdt-Mumm 1998, Calvachi 2003). In the last century, 72 species of aquatic birds have been reported in the area, including three endemic species and five subspecies (van der Hammen et al. 2008). However, it is currently located in one of the most populated and productive areas in the country, which has led to the loss of more than 97% of the original wetland area, along with the extinction of one of the endemic species (*Podiceps andinus*) and two subspecies (*Anas georgica niceforoi* and *Polystictus pectoralis bogotensis*); the two other endemic species (*Rallus semiplumbeus* and *Cistothorus apolinari*) and two subspecies (*Ixobrychus exilis bogotensis* and *Gallinula melanops bogotensis*) are endangered (ABO 2000; Renjifo et al. 2002; van der Hammen et al. 2008).

Part of this Andean wetland complex is a highland plateau (1200 km², 2630 m), the Sabana de Bogotá, where the country's capital Bogotá (population ca. eight million) is located. Although the remaining wetlands in the Sabana are highly fragmented with high levels of pollutants (Rodríguez-Mahecha 2000; van der Hammen 2003; Vásquez et al. 2006), they still have a rich and dynamic avifauna (van der Hammen et al. 2008) and in the last decade Bogotá's water company (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB) and the city's Environmental Office (Secretaria Distrital de Ambiente) have made efforts to preserve and restore the remaining 13 wetlands in the city and have financed several unpublished studies on these wetlands, and are managing some of them for the conservation of biodiversity using birds as an indicator group (EAAB and CI 2005; PUJ and EAAB 2006a; 2006b; van der Hammen et al. 2008).

The critical state of the world's wetlands (Weller 1999, Gibbs 2000, Euliss et al. 2008) has stimulated many quantitative studies on the effect of habitats on waterbirds in wetlands in the last 20 years (Caziani and Derlindati 1999; Weller 1999; Tellería et al. 2006; Ma et al. 2010). However, there are no published comparative studies of the wetlands of the Bogotá area that discuss habitat availability and requirements for wildlife; information about bird communities in different types of wetlands is needed as an input for conservation and management planning. In the last decades several studies have been conducted on the Eastern Andes wetland complex in which birds are included, but either in

only one wetland (Benítez-Castañeda 2004; López and Otálora 2005; Zerda et al. 2005; Osbahr and Gómez 2006; Morales-Rozo et al. 2007; Macana 2007), on one species (Lozano 1993; Pedraza 2001; Morales-Rozo and De la Zerda 2004; Rodríguez-Grisales 2007) or as a result of analysis of existing information without specified methods (Rodríguez-Mahecha 2000; Calvachi 2003).

Urbanization poses an additional problem to the Bogotá wetlands that are subject to industrial wastes, garbage fill leaks, hydrologic changes, sedimentation, and sewage contamination as in similar cases in North America (Horner 2001; Seigel et al. 2005). Other studies in urban and semiurban wetlands have found that urban development affects bird communities because of the dominance of particular types of plant such as *Phragmites australis* (Benoit and Askins 1999; Seigel et al. 2005; Schaumburd et al. in press), habitat loss (Richter and Azous 2001b) or urban development in the surrounding matrix (DeLuca et al. 2004). However there are no comparative studies of urban and rural wetlands in the Eastern Andes complex of Colombia.

Our objective was to study the bird communities of a representative selection of the Sabana de Bogotá wetlands along with several habitat parameters in order to obtain quantitative data about the factors that are most important for the conservation of these important and threatened communities.

3.3 Methods

3.3.1 Study area

In the Sabana de Bogotá we chose 19 wetlands that varied in size, surrounding landscape (rural, semiurban or urban) vegetation cover and bird assemblages (Figure I-1). The annual average temperature in the Sabana is 13.5° (Guhl 1981), the annual rainfall between 500 and 700mm, and the area is located in the high and middle watershed of the Bogotá River. Landscape is dominated by agricultural fields crossed by roads of different magnitudes. The study area includes the west border of the city of Bogotá therefore some of the wetlands are immersed in the city (Figure I-1). All the wetlands in the area have been affected by human activities, some of them for more than 5000 years so that Gualí, Juan Amarillo, Jaboque, and la Conejera in particular might be the result of pre-Columbian inhabitants having transformed the respective erosion valleys into permanent wetlands (van der Hammen 2003). In short, the wetlands included in the study contain an array of

natural and manmade swamps of different ages in which the line between artificiality and naturality is sometimes difficult to draw.

3.3.2 Wetland and habitat characteristics

In each wetland we measured characteristics that according to similar studies and our own observations could be important for birds (Weller 1999; Ma et al. 2010). These included habitat composition within each wetland, wetland dimensions (area, perimeter, index of perimetral complexity IPC using the formula: length of perimeter divided by the circumference of a circle with the same area (Patton 1975; Paracuellos and Tellería 2004)), surrounding matrix and distance from the border of each wetland to the nearest border of the nearest neighboring wetland with an area of ≥ 1 ha (Gibbs 1993). Using available high definition images from Google Earth dated 2008-2010 for most wetlands, we mapped on a 1:2000 scale the different habitats within each wetland, the quality of the vegetation in the 30 m protection belt legally declared in the city (DAMA 2006) and the 500m matrix around each wetland. Wetlands for which Google Earth Images were not available were Guaymaral, for which we used a 2007 Ikonos image, Gravillera and Salitre for which we used a 2007 Landsat image and Tibitoc in which we used aerial photographs from the 90's and 2008 provided by Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), the regional government environmental agency.

For habitat measurement we used a simplified vegetation type classification related to bird use in the area based on van der Hammen et al. (2008) and Weller (1999) that included 11 habitat types (Table 3-1). In all cases we corrected maps in the field. We calculated habitat diversity with a Shannon Diversity Index which takes into account the number and relative area of different habitat types (Magurran 1988).

Table 3-1: Habitat types mapped and quantified in each of the 19 wetlands in the Sabana de Bogotá, Colombia (based on van der Hammen et al. 2008 and Weller 1999).

Cover name	Description	Typical species
Mudflat	Muddy areas without vegetation	None
Open water	Clear surface with varying water depths and submerged vegetation.	<i>Potamogeton</i> sp., <i>Elodea</i> or none
Floating carpet	Tiny floating vegetation	<i>Azolla filiculoides</i> , <i>Lemna gibba</i> , sometimes <i>Limnobium laevigatum</i>

Cover name	Description	Typical species
Floating vegetation	Dense mat of larger floating plants	<i>Limnobium laeviagatum</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Ludwigia</i> sp.
Emergent vegetation	Rooted macrophytes with aerial parts forming a dense mat between 15 and 50cm enough to hide a bird.	<i>Polygonum</i> spp., <i>Hydrocotyle</i> sp., <i>Rumex</i> sp., <i>Bidens laevis</i> , sometimes mixed with kikuyu grass (<i>Pennisetum clandestinum</i>).
Sedge clumps	Small clumps (<1m) with spaces between them	(<i>Juncus effusus</i> , <i>Carex</i> and <i>Cyperus</i> spp.).
Cattails	Dense mat of plants up to 3m with no space between bases of leaves	<i>Typha dominguensis</i>
Bulrushes	Large continuous clumps of bulrushes up to 4m tall growing in water occasionally mixed with some grass or dock	<i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Pennisetum clandestinum</i> , <i>Rumex obtusifolius</i> .
Woody vegetation	Shrubs and small trees that grow on islands	Varied but <i>Eucalyptus</i> sp., <i>Baccharis</i> spp., <i>Salix humboldtiana</i> , acacias (<i>Acacia</i> spp.), <i>Pittosporum</i> and <i>Fraxinus chinensis</i> are common.
Grassland	Invading african grass	<i>Pennisetum clandestinum</i>
Constructions	Man made structures in the wetlands.	

To calculate a quality index of the vegetation in the 30 m protection legal buffer belt around each wetland, we gave quality values to the existing vegetation as 0: no vegetation, 1: short vegetation (grass, pastures and cultivated lands containing trees up to 10% of the area), 2: dispersed trees in densities between 10 and 50% of the area, 3: scrub, groves and forest with tree density over 50% of the area. We multiplied each value by the proportion of the belt covered by that type of vegetation and then added all the products; the index could vary from zero (no vegetation in the belt) to three (forest covering the belt completely). In the 500m matrix around each wetland we mapped and measured the area covered by manmade structures (roads, buildings, greenhouses), woody vegetation, low vegetation (pastures and cultivated lands) and water bodies (channels, streams, rivers, wetlands). We then calculated the proportion of each cover in the matrix as a measure of the influence of the surroundings. We consider as rural those wetlands with a proportion

of manmade structures below 25%, semiurban those with 25 to below 60% covered by manmade structures and urban those with 60% of more of their matrix covered by manmade structures.

3.3.3 Bird communities

We visited each wetland three times (July-August and September-October 2009, and February-March 2010) including dry and wet seasons and northern migration periods in the region. Visits were made from dawn to 10:00 h during which we slowly walked around the wetland stopping regularly for observations and playing of song recordings of *Rallus semiplumbeus* and *Cistothorus apolinari*, two highly vocal species that are difficult to see.

We grouped the aquatic species in eight guilds defined according to the type of food, the feeding site and the type of locomotion (Weller 1999) (Table 3-2).

Table 3-2: Guilds in which we divided the aquatic birds observed in 19 wetlands of the Sabana de Bogotá, eastern Colombian Andes between 2009 and 2010 (based on Weller 1999).

Guild	Abreviation
Shoreline walkers that consume invertebrates on mud or bare soil	SWI
Walkers on aquatic vegetation that consume invertebrates and plants	VWP
Flight feeders that plunge for fish	FFF
Surface swimmers that occasionally dive, they feed mostly on invertebrates and plant material	SSI
Perchers on emergent vegetation that glean for insects or catch them with short flights	PEV
Waders/waiters that feed on invertebrates and fish stalking and striking	WAF
Waders that probe in mud for invertebrates	WPI
Benthic divers that consume mainly invertebrates	BDI

Other factors possibly related to the presence of birds in the studied wetlands such as the presence of dogs, physical and chemical characteristics of water and the presence of Shiny Cowbirds (*Molothrus bonariensis*) were quantified in associated investigations

(Calderón-Reyes 2008; Quiroga 2010; Villaneda 2010; Rosselli 2011) and included in the analysis. Since dogs are not very mobile in all the wetland area and remain mostly on the borders, we used the number of dogs/km of wetland perimeter as a measure of density and since cowbirds are very mobile and fly easily throughout each wetland we used total number of cowbirds as an indicator variable.

3.3.4 Data analysis

After having reduced highly correlated redundant environmental variables we performed a principal components analysis (PCA) on the transformed variables (most variables were transformed with square root or logarithm) with SPSS 16.0 (SPSS Inc. 2007) using the normalized Varimax rotation algorithm to further reduce the number of variables and simplify the interpretation of the exploration and comparison of wetlands and surroundings characteristics (Tabachnick and Fidell 2007). We obtained six components using the broken-stick model to select ordination axes (Legendre and Legendre 1998; Leps and Smilauer 2003).

We carried out a stepwise multiple regression analysis using SPSS to explore which environmental factors (reduced to the six principal components) of the wetlands best explained aquatic and terrestrial bird richness. We performed cluster analysis for the studied wetlands using the presence of aquatic and terrestrial species to assess the similarity among sites using PAST (Hammer et al. 2001) with the unweighted pair-group average (UPGMA) method and using Sorensen's distance. After performing a Detrended Correspondence Analysis in which we found that our data were not too heterogeneous and a linear method was appropriate (Leps and Smilauer 2003) we used a redundancy analysis (RDA) with CANOCO (Ter Braak 1988) to examine the relation between environmental variables reduced in principal components and bird guilds. In this analysis we used a forward selection with Montecarlo tests to extract the most important and significant environmental factors for guilds (Leps and Smilauer 2003).

3.4 Results

3.4.1 Wetland and habitat characteristics

Wetland size varied from 2.7 (Finca La Laguna located in a private dairy farm) to 258.49 ha (Laguna La Herrera) ($\bar{X} = 44.84 \pm 66.6$ s.d.). Most (13) wetlands had areas below 30

ha, one (Tibitoc) had an area of 49.19 ha, Jaboque and Juan Amarillo had areas of 80 and 120 ha and Gualí 141.09 ha (Table 3-3). IPC ranged from simply shaped, straight-bordered wetlands such as Tibitoc and Gravillera to long thin fragmented wetlands with uneven edges including Laureles (in a private dairy farm), Gualí (surrounded by cultivated lands and industries) and Córdoba (in the city) (Table 3-3). The proportion of vegetation cover was very variable, ranging from 100% covered by aquatic vegetation (Torca) to only 6.3% (La Laguna) (Table 3-3). Rural wetlands had significantly higher proportions of open water cover than urban and semiurban ones ($U=25.0$, $p=0.045$). The most common habitats included emergent vegetation, bulrushes and floating vegetation; their composition in each wetland was diverse, some wetlands had similar proportions of emergent vegetation, bulrushes and cattails (Torca), while others had a dominant type e.g. emergent vegetation in Córdoba or bulrushes in Tibanica (Table 3-3, Anexo A). Some habitats such as mudflats and manmade constructions were poorly represented in the wetlands, with very limited areas when present (less than $\frac{1}{4}$ ha in all cases) and are not included in Table 3-3. Other habitats that have limited representation and, according to exploratory analysis, were not important to bird occurrence, include woody terrestrial vegetation present in Guaymaral, Laguna de La Herrera and Juan Amarillo with areas of 2.0, 2.2 and 2.9 ha respectively; and invading grassland (*Pennisetum clandestinum*) that is present in considerable areas in Conejera (1.6 ha), Jaboque (3.0 ha), Juan Amarillo (6.3 ha) and Tibanica (2.4 ha); the latter is crossed by several longitudinal mounds covered by kikuyu grass that occupy 12,7% of the area. Wetlands dominated by open water with little vegetation had the lowest diversity indexes (La Laguna, Gravillera and Meridor). La Conejera, Gualí and Jaboque had different proportions of bulrushes and emergent vegetation combined with other vegetation and showed the highest diversity values (Table 3-3).

Table 3-3: Characteristics of 19 wetlands from the Sabana de Bogotá, eastern Colombian Andes based on satellite images dated 2007-2010. All areas are in hectares. For habitat descriptions see Table 3-1. See maps in Anexo A.

Wetland	Total Area	Index of Perimetral Complexity	Open water	Emergent	Bulrushes	Cattails	Floating Veg.	Floating carpet	Sedge clumps	Shannon Habitat Diversity Index	Vegetation Quality Buffer Belt	Distance to nearest wetland (km)	Matrix Proportion Woody Veg.	Matrix proportion water bodies	Matrix proportion manmade structures	Matrix proportion low veg.
Ceuta	14.43	3.80	9.34	0.51	3.19	0.84	0.01	0.533	0.003	1.03	1.19	0.03	0.06	0.05	0.14	0.75
Colina	10.49	2.60	6.20	0.33	1.48	0.24	0.77	1.256	0.000	1.31	1.25	0.10	0.09	0.05	0.29	0.58
Conejera	21.85	4.20	1.67	7.39	7.00	0.00	0.32	1.653	1.404	1.69	2.10	1.90	0.09	0.01	0.25	0.66
Cordoba	14.73	4.60	1.28	10.96	0.03	1.24	0.03	0.032	0.012	0.95	2.18	0.03	0.15	0.03	0.68	0.14
Gravillera	12.49	1.36	11.45	0.01	0.35	0.00	0.00	0.000	0.682	0.34	1.13	0.46	0.08	0.00	0.22	0.70
Guali	141.09	4.96	4.90	39.80	37.84	29.38	25.03	2.918	0.017	1.58	1.29	0.07	0.07	0.01	0.27	0.65
Guaymaral	20.04	2.91	1.25	3.88	10.74	0.74	0.20	1.068	0.000	1.42	1.78	0.94	0.16	0.01	0.17	0.66
Herrera	258.49	2.07	22.82	101.90	50.35	0.00	79.08	2.002	0.000	1.34	1.26	1.40	0.12	0.03	0.20	0.65
Jaboque	108.39	3.50	4.99	49.81	20.63	2.83	21.47	1.081	4.324	1.52	0.96	0.18	0.07	0.04	0.53	0.35
Juan Amarillo	120.66	3.71	28.96	55.65	16.57	6.03	3.55	0.378	0.000	1.50	1.01	0.89	0.04	0.02	0.68	0.26
Laguna	2.70	2.07	2.53	0.10	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.28	0.98	0.03	0.03	0.01	0.01	0.94
Laureles	11.51	5.10	5.48	0.04	0.03	0.11	0.15	5.136	0.000	1.05	2.34	0.02	0.16	0.01	0.03	0.80
Meridor	7.60	4.07	6.91	0.07	0.09	0.10	0.01	0.060	0.000	0.46	1.39	0.42	0.11	0.01	0.04	0.84
Neuta	18.52	2.00	0.35	3.87	8.22	3.87	1.01	1.197	0.000	1.43	1.23	1.10	0.09	0.00	0.48	0.42
Salitre	3.56	2.03	1.67	0.19	0.00	0.00	0.14	1.158	0.001	1.33	1.23	1.88	0.26	0.00	0.07	0.66
Santa Maria del Lago	5.42	2.20	1.67	0.90	0.01	2.51	0.00	0.085	0.000	1.24	2.16	2.33	0.06	0.00	0.86	0.09
Tibanica	18.98	1.50	0.22	0.83	10.01	0.54	4.69	0.089	0.000	1.31	0.42	3.33	0.04	0.02	0.55	0.40
Tibitoc	49.19	1.23	25.40	6.90	9.54	2.71	0.00	4.648	0.000	1.32	1.91	2.30	0.15	0.01	0.15	0.69

	Total Area	Index of Perimetral Complexity	Open water	Emergent	Bulrushes	Cattails	Floating Veg.	Floating carpet	Sedge clumps	Shannon Habitat Diversity Index	Vegetation Quality Buffer Belt	Distance to nearest wetland (km)	Matrix Proportion Woody Veg.	Matrix proportion water bodies	Matrix proportion manmade structures	Matrix proportion low veg.
Wetland																
Torca	11.85	2.21	0.00	2.96	4.31	3.03	0.07	0.000	0.470	1.48	1.09	0.94	0.11	0.03	0.15	0.71
$\bar{X} \pm s.d.$	44,84 ±	2,95 ±	7,21 ±	15,06±	9,49 ±	2,85 ±	7,18 ±	1,23 ±	0,36 ±	1,19 ±	1,41 ±	0,97 ±	0,1 ±	0,02 ±	0,30 ±	0,58 ±
	66,63	1,25	8,87	27,39	13,76	6,64	18,85	1,52	1,02	0,41	0,52	0,98	0,06	0,02	0,25	0,24

The 30 m buffer belt around each wetland had vegetation quality values between 0.42 in Tibanica and 0.96 in Jaboque, the wetlands with the highest proportion of constructions in the belt (41% and 30.9% respectively), and 2.34 in Los Laureles (Table 3-3), a rural wetland with a high proportion of forest in the belt, and 2.18 in Córdoba, an urban wetland where neighbors have planted and cared for many trees around the wetland. There was no significant difference between rural, semirural and urban vegetation quality index in the 30m belt surrounding wetlands ($H=1.44$, $p=0.49$, $n=10, 6, 3$).

Distances to the nearest neighboring wetland was relatively low ($X = 0.97 \text{ km} \pm 0.98 \text{ s.d.}$) ranging from 20 and 30 m in Laureles and Ceuta, which were parts of chains of wetlands in single watersheds, and 3.33 km in Tibanica (Table 3-3).

The 500 m matrices around wetlands varied from having high proportions of manmade constructions in Santa María del Lago (86%), Córdoba (68%) and Juan Amarillo (68%) to almost completely surrounded by vegetation in rural wetlands such as Laguna, Laureles and Meridor. However, the proportion of different types of vegetation changes with pastures dominating in some of them (e.g. Laguna, Ceuta) and higher values of woody vegetation in others (Salitre, Guaymaral, Tibitoc) (Table 3-3). Proportion of water bodies in the matrix was $\leq 5\%$ in all wetlands (Table 3-3, Anexo B).

Total dissolved solids values varied from 111.13 g/l in Gravillera and 1485.17 g/l in La Laguna ($X = 493.29 \pm 406.6 \text{ s.d.}$); dissolved oxygen was zero for five wetlands and Gravillera had the highest value (2.02 mg/l) ($X = 0.38 \pm 0.54 \text{ s.d.}$). pH values ranged from acidic values of 2.16 and 3.54 in Neuta and Laureles and 7.54 in Gravillera ($X = 6.19 \pm 1.50 \text{ s.d.}$) (Table 3-4).

Table 3-4: Physical and chemical water properties¹, dog density² and total Shiny Cowbirds³ in 19 wetlands from the Sabana de Bogotá, Colombia, 2009-2010.

Wetland	Total Dissolved Solids (g/l)	Dissolved Oxygen (mg/l)	pH	Dogs/Km	Total Shiny Cowbirds
Ceuta	881,02	0,00	7,10	1,95	17
Colina	904,42	0,00	4,43	0,67	3
Conejera	261,07	0,10	6,68	1,42	7
Cordoba	212,31	0,36	6,79	6,00	8
Gravillera	111,13	2,02	7,54	4,00	0
Guali	464,61	0,01	6,77	2,00	71
Guaymaral	325,16	0,04	7,20	1,00	9
Herrera	280,15	0,05	6,59	2,00	111
Jaboque	180,69	0,63	6,66	6,00	47

Wetland	Total Dissolved Solids (g/l)	Dissolved Oxygen (mg/l)	pH	Dogs/Km	Total Shiny Cowbirds
JAmarillo	355,95	0,92	6,84	5,00	270
Laguna	1485,17	0,00	4,20	2,00	0
Laureles	1226,50	0,00	3,54	0,65	5
Meridor	773,65	0,00	7,47	6,00	4
Neuta	419,39	0,01	2,16	3,94	15
Salitre	134,63	1,30	6,89	6,00	0
SMaria	182,19	0,33	7,00	0,00	5
Tibanica	855,12	0,38	6,95	16,00	9
Tibitoc	194,43	0,44	7,16	1,00	31
Torca	124,97	0,62	5,70	1,00	3

¹From Quiroga 2010

²From Calderón-Reyes 2008

³From Villaneda 2010

We found no dogs in Santa María del Lago, a fenced wetland in the city, while the highest value was obtained in Tibanica (16 dogs/km) ($X = 3.51$ dogs/km \pm 3.69 s.d.). Dog density tended to be higher in urban and semiurban wetlands but these differences were not significant ($H=0.58$, $p=0.75$, $n=3, 6, 10$) (Table 3-4). We found no Shiny Cowbirds in three rural wetlands (Laguna, Gravillera and Salitre), most wetlands had less than 20 individuals and the highest populations occurred in the largest wetlands where Juan Amarillo had the highest number (270, Table 3-4).

The six components obtained from the environmental variables explain 80.1% of the variance. Component 1 is dominated by area related variables (bulrush, total wetland area and emergent vegetation area) and cowbird abundance so this component is a good measure of wetland size and vegetation cover. Component 2 is negatively associated with proportion of low vegetation in the matrix and positively to proportion of manmade structures so it is a good measure of how urban the landscape is. Component 3 is dominated by the area and proportion of sedge clumps present in the wetlands. The highest loadings of component 4 are the proportion of woody vegetation in the matrix and the proportion of floating carpet habitat in wetlands. Component 5 is a measure of closeness to other wetlands and perimeter complexity and component 6 is mostly related to open water area, open area proportion and pH (Table 3-5).

Table 3-5: Factor loadings for a principal components analysis of 28 environmental variables, measured at 19 wetlands on the Sabana de Bogotá (Rotation Method: Varimax with Kaiser normalization) with adopted transformations.

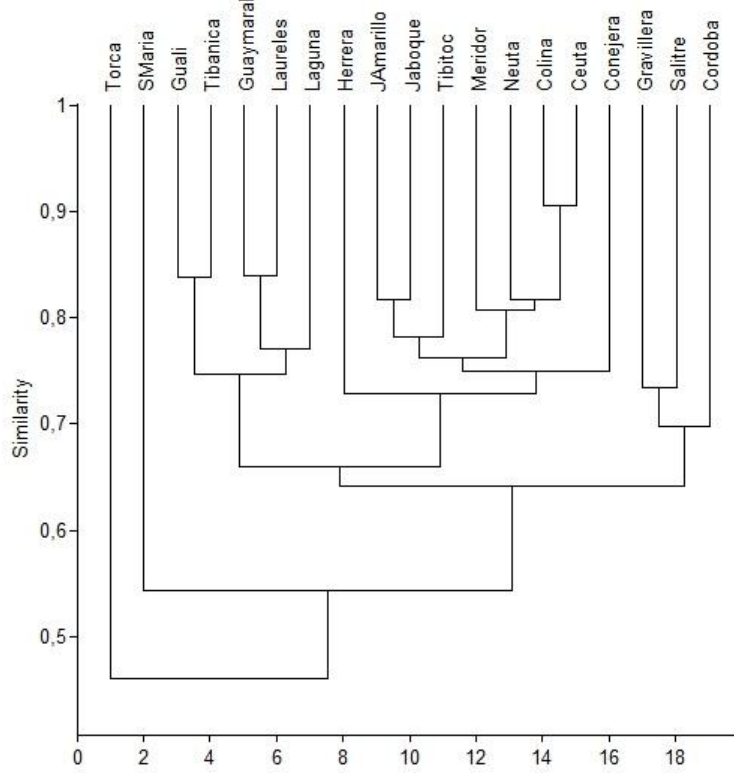
	Component					
	1	2	3	4	5	6
Total area ¹	.934					
Index Perimetral Complexity					.830	
Bulrushes area ²	.966					
Open water area ²						.783
Emergent vegetation area ²	.852					
Floating carpet area ²	.542			.590		
Cattails area ¹		.634				
Floating vegetation area ¹	.761					
Sedge clumps area ¹			.943			
Shannon Habitat Diversity Index ³	-.690					
Vegetation quality Buffer Belt ¹				.512		
Distance to nearest wetland ²					-.874	
Total Dissolved Solids ²			-.640			
Dissolved Oxygen ²			.528			
pH ⁴						.622
Dogs/km ²						
Total Shiny Cowbirds ¹	.860					
Matrix Proportion Woody Veg				.863		
Matrix proportion water bodies ²					.519	
Matrix proportion manmade structures ²		.862				
Proportion of open water ²	-.549					.525
Proportion of emergent vegetation ²	.528	.616				
Proportion of bulrushes ²	.638					
Matrix proportion low veg.		-.930				
Proportion of cattails ²		.725				
Proportion of floating vegetation ²	.724					
Proportion of floating carpet ²				.833		
Proportion of sedge clumps ²			.939			
Eigenvalue	7.83	4.06	3.04	2.86	2.40	2.24

Notes: Only loadings >|0.5| are shown. The first three principal components (PC) accounted for 53.5% of the total variance in the data matrix. Transformations applied: ¹log (x+1); ²square-root; ³ reflect log (x+1); ⁴inverse and reflect

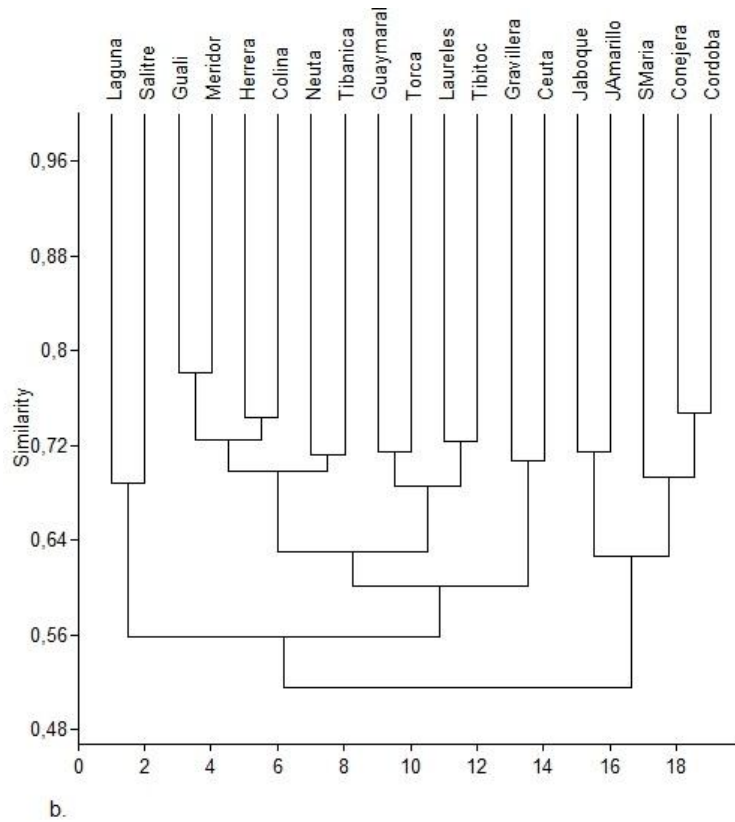
3.4.2 Bird Communities

We found 115 bird species in the studied wetlands, including 37 boreal migrants, two austral migrants (*Coccyzus melacoryphus* and *Tyrannus savana*); 40 (35%) were aquatic species (Table 3-6). Total number of species ranged from 28 in Torca (a rural wetland mostly surrounded by pastures but a few meters from a major highway) and 71 in Jaboque (a large semirural wetland adjacent to the Bogotá river) (Table 3-6). Terrestrial birds were represented in most wetlands by the common species in the city and surroundings (*Zenaida auriculata*, *Tyrannus melancholicus*, *Orochelidon murina*, *Turdus fusca* and *Zonotrichia capensis*), another group of species is more tied to rural landscapes (e.g. *Lesbia nuna*, *Picoides fumigatus*, *Synallaxis subpudica*, *Grallaria ruficapilla* and *Catamenia analis*) (Table 3-6). There are also species that probably have escaped from captivity (*Icterus icterus*) and others from lower lands that are new and are increasing in the Sabana de Bogotá (e.g. *Forpus conspicillatus*, *Machetornis rixosa*, *Pitangus sulphuratus*, *Quiscalus lugubris*) (Table 3-6). According to the composition of terrestrial birds, wetlands fell into two groups: one including those with the highest urban tendency (Santa María, Conejera, Córdoba and Juan Amarillo) and another one with the rest (Figure 3-1 b). The greatest similarity is found between Gualí-Meridor, Conejera-Córdoba, and Herrera-Colina. Richness of terrestrial birds was explained (40.6%) by a significant ($p=0.011$) stepwise multiple regression model including only Factor 1 from the PCA: $1/(\text{terrestrial bird richness} + 1) = -0.009 * \text{Factor 1} + 0.045$. Total number of terrestrial bird species was significantly correlated with the vegetation quality of the 30 m belt around each wetland ($r=0.58$, $p<0.05$).

Figure 3-1: Results of cluster analysis of Sabana de Bogotá wetlands based on presence/absence data of 40 species of aquatic birds (a) and 75 species of terrestrial birds (b).



a.



Regarding aquatic birds, Torca had the lowest number (7) and Jaboque the highest (28) (Table 3-6). We found *Bubulcus ibis*, *Gallinula galeata*, *Fulica americana* and *Tringa solitaria* in most wetlands, rare sightings in the area such as *Bartramia longicauda*, *Calidris bairdii* and *Aythya affinis*, and endangered, diminishing species like *Ixobrychus exilis* were seen only in one wetland each. Among the endemic and endangered taxa the most widely dispersed were *Chrysomus icterocephalus bogotensis*, *Oxyura jamaicensis andina* and *Gallinula melanops bogotensis*. We also found the endemic *Rallus semiplumbeus* in most of the wetlands but *Cistothorus apolinari* and *Pseudocolopteryx acutipennis* (endangered in the country) were only found in four and three wetlands (Table 3-6). A stepwise multiple regression model was significant ($p=0.003$) and explained 41.6% of the richness of aquatic birds in the studied wetlands also including only Factor 1 from the PCA (Aquatic bird richness = $3.39 * \text{Factor 1} + 18.58$). Regarding similarity between wetlands according to the presence of aquatic species, Torca and Santa María, the two poorest sites, were separated from the rest which in turn were separated in two large groups. Colina and Ceuta, two similar and very close wetlands, had the highest similarity sharing a group of open water species and several herons (Figure 3-1 a, Table 3-6). Other similar pairs of wetlands included Gualí-Tibanica with a good representation of rails and shorebirds, Guaymaral-Laureles with a varied group of birds related to different habitats

and Juan Amarillo-Jaboque, the two large wetlands partially immersed in the city that share herons, rails and shorebirds (Figure 3-1 a, Table 3-6).

Table 3-6: Bird species heard or seen in 19 Sabana de Bogotá wetlands in three visits between July 2009 and March 2010, migration status and habits in the area.

Genus	species	Ceuta	Colina	Conejera	Cordoba	Gravillera	Guali	Guaymaral	Herrera	Jaboque	Jamarillo	Laguna	Laureles	Meridor	Neuta	Salitre	SMaria	Tibanica	Tibitoc	Torca	Migrant ¹	Aquatic	Guild ²
<i>Dendrocygna</i>	<i>autumnalis</i>				X	X	X			X												X	SSI
<i>Anas</i>	<i>flavirostris</i>															X						X	SSI
<i>Anas</i>	<i>discors</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		B	X	SSI
<i>Aythya</i>	<i>affinis</i>									X											B	X	SSI
<i>Nomonyx</i>	<i>dominicus</i>			X																		X	SSI
<i>Oxyura</i>	<i>jamaicensis</i> ³	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X			X	SSI
<i>Podilymbus</i>	<i>podiceps</i>	X	X	X	X	X			X	X	X			X		X	X		X			X	BDI
<i>Phalacrocorax</i>	<i>brasilianus</i>	X	X																X			X	BDI
<i>Egretta</i>	<i>caerulea</i>	X	X	X		X			X	X				X				X	X			X	WAF
<i>Egretta</i>	<i>thula</i>																		X			X	WAF
<i>Bubulcus</i>	<i>ibis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	WAF
<i>Butorides</i>	<i>striata</i>	X	X	X	X	X			X	X	X			X	X	X	X		X			X	WAF
<i>Butorides</i>	<i>virescens</i>		X																		B	X	WAF
<i>Ardea</i>	<i>alba</i>	X	X	X	X				X	X	X					X	X		X			X	WAF
<i>Ixobrychus</i>	<i>exilis</i> ³								X													X	WAF
<i>Nycticorax</i>	<i>nycticorax</i>	X	X	X					X	X	X			X	X				X			X	WAF
<i>Phimosus</i>	<i>infuscatus</i>			X			X	X	X	X								X	X			X	WPI
<i>Coragyps</i>	<i>atratus</i>	X		X	X	X		X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X			
<i>Pandion</i>	<i>haliaetus</i>	X	X						X	X	X			X					X		B	X	FFF
<i>Elanus</i>	<i>leucurus</i>		X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			
<i>Buteo</i>	<i>magnirostris</i>			X			X	X					X						X	X			
<i>Buteo</i>	<i>platypterus</i>			X	X												X			X	B		
<i>Falco</i>	<i>sparverius</i>		X						X			X						X					
<i>Falco</i>	<i>columbarius</i>			X			X			X								X	X		B		
<i>Falco</i>	<i>peregrinus</i>								X	X			X				X	X	X		B		
<i>Rallus</i>	<i>semiplumbeus</i> ⁴	X	X	X			X	X	X	X	X		X		X			X	X	X		X	VWP
<i>Porzana</i>	<i>carolina</i>			X			X			X								X			B	X	VWP

Genus	species	Ceuta	Colina	Conejera	Cordoba	Gravillera	Guali	Guaymaral	Herrera	Jaboque	Jamarillo	Laguna	Laureles	Meridor	Neuta	Salitre	SMaria	Tibanica	Tibitoc	Torca	Migrant ¹	Aquatic	Guild ²
<i>Conirostrum</i>	<i>rufum</i> ⁴			X	X			X		X	X								X	X			
<i>Diglossa</i>	<i>humeralis</i>	X		X	X	X		X		X	X		X	X	X		X		X	X			
<i>Diglossa</i>	<i>sittoides</i>			X											X		X						
<i>Piranga</i>	<i>rubra</i>			X	X					X							X				B		
<i>Piranga</i>	<i>olivacea</i>			X	X					X							X				B		
<i>Zonotrichia</i>	<i>capensis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Sicalis</i>	<i>luteola</i>	X	X			X	X			X	X	X	X	X	X			X	X	X		X	PEV
<i>Catamenia</i>	<i>analís</i>		X	X		X																	
<i>Arremon</i>	<i>torquatus</i>				X																		
<i>Pheucticus</i>	<i>aureoventris</i>			X	X									X					X				
<i>Pheucticus</i>	<i>ludovicianus</i>				X																		
<i>Saltator</i>	<i>coerulescens</i>				X							X											
<i>Vermivora</i>	<i>peregrina</i>				X																B		
<i>Dendroica</i>	<i>petechia</i>			X						X	X						X		X		B		
<i>Dendroica</i>	<i>fusca</i>				X					X							X				B		
<i>Setophaga</i>	<i>ruticilla</i>				X																B		
<i>Mniotilta</i>	<i>varia</i>			X																	B		
<i>Seiurus</i>	<i>noveboracensis</i>			X	X					X			X				X	X	X		B	X	SWI
<i>Oporornis</i>	<i>philadelphia</i>			X							X										B		
<i>Wilsonia</i>	<i>canadensis</i>			X	X								X				X				B		
<i>Basileuterus</i>	<i>nigrocristatus</i>	X		X	X																		
<i>Icterus</i>	<i>chrysater</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				
<i>Icterus</i>	<i>icterus</i>				X																		
<i>Icterus</i>	<i>nigrogularis</i>			X	X					X	X						X						
<i>Chrysomus</i>	<i>icterocephalus</i> ³	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	PEV
<i>Molothrus</i>	<i>bonariensis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X			
<i>Quiscalus</i>	<i>lugubris</i>									X													
<i>Sturnella</i>	<i>magna</i>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			
<i>Carduelis</i>	<i>psaltria</i>			X	X		X			X	X			X	X	X		X		X			

Genus	species	Ceuta	Colina	Conejera	Cordoba	Gravillera	Guali	Guaymaral	Herrera	Jaboque	Jamarillo	Laguna	Laureles	Meridor	Neuta	Salitre	SMaria	Tibanica	Tibitoc	Torca	Migrant ¹	Aquatic	Guild ²
<i>Carduelis</i>	<i>spinescens</i>	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X		X	X					
TOTAL		115	48	46	70	64	42	40	45	45	71	48	29	48	41	41	41	42	44	50	28	48	40

¹ B: Boreal, A: Austral

² See guild description in Table 3-2

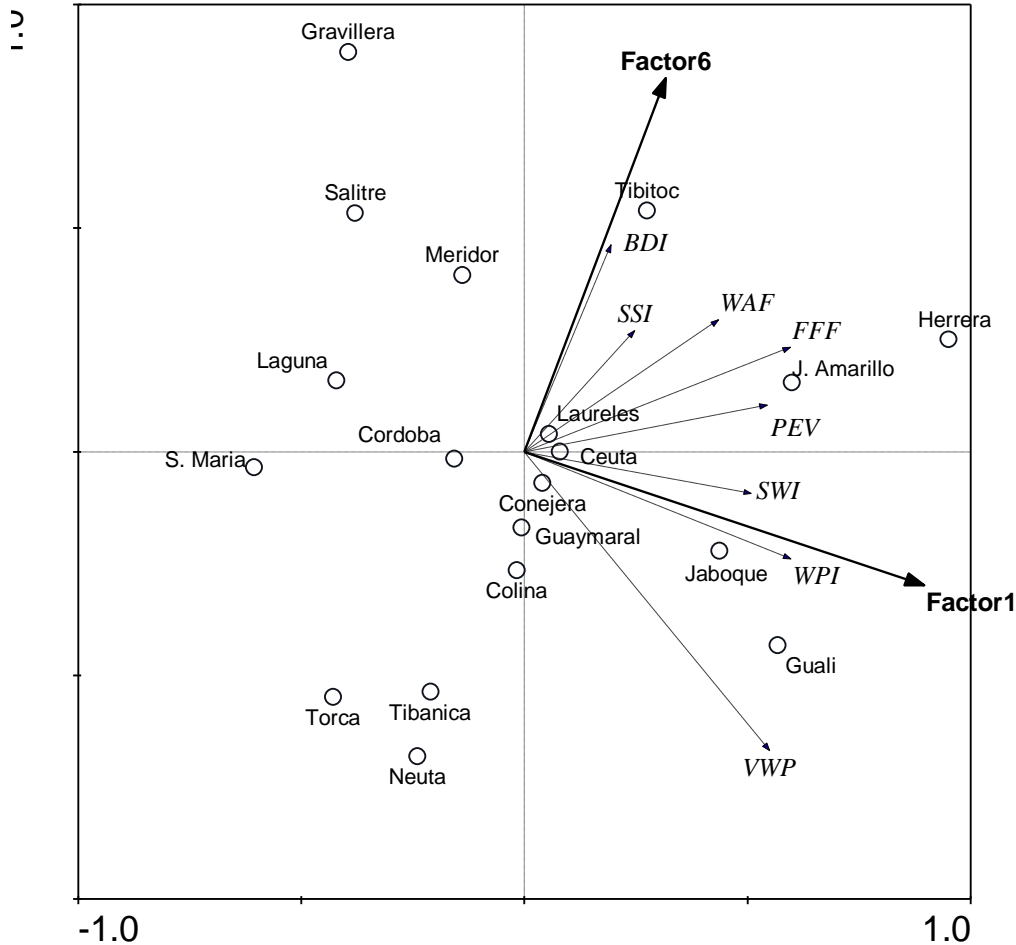
³ Subspecies endemic to Colombia

⁴ Species endemic to Colombia

The guilds with most species were “Shoreline walkers that consume invertebrates on mud or bare soil” (9), “Surface swimmers that occasionally dive, feeding mostly on invertebrates and plant material” (8) and “Waders/waiters feeding invertebrates and fish by stalking and striking” (8). Among the less diverse were “Benthic divers that consume mainly invertebrates” (2) and “Waders that probe in mud for invertebrates” (2). Only one species (*Pandion haliaetus*) represented the “Flight feeders that plunge for fish” (Table 1-2).

The environmental factors with significant explanatory effects on guild richness were factors 1 ($p=0.004$) and 6 ($p=0.05$) that explain 28% of the variance. The first ordination axis is related mostly to factor 1 and most guilds, particularly waders that probe in mud, walkers on aquatic vegetation, and shoreline walkers tend to be richer at higher values of this factor and are more diverse in wetlands such as Gualí and Jaboque (Figure 3-2). The second axis is related to factor 6 and the richness of benthic divers is coincident. Other guilds related to open water area are waders that wait to stalk, flight feeders and surface swimmers and are richer in Tibitoc wetland (Figure 3-2).

Figure 3- 2: Biplot of the first two axes of a redundancy analysis (rda) regressing guild data (dashed arrows, Table 3-2) on principal components obtained from environmental data (solid arrows) measured for 19 wetlands in the sabana de Bogotá, Colombia. Environmental factors were selected by the forward selection procedure. The circles indicate the placement of each wetland in the ordination space.



3.5 Discussion

The small sizes of the studied wetlands are the result of the gradual deterioration of the Sabana de Bogotá with the rapid loss of area and habitat; for example, the Vaca wetland in the city was diminished from 85 to <4 ha in less than 30 years (PUJ – EAAB 2006b) or the fragmentation of the larger water body that today is the Jaboque and Capellanía wetlands due to the construction of the city's airport (van der Hammen et al. 2008). This shrinkage has been associated with the disappearance of open water replaced by dominant vegetation covers (PUJ – EAAB 2006a,b; van der Hammen et al. 2008), a situation related to urbanization and its effects (Horner 2001, Rodríguez-Mahecha 2000).

Regardless of the deterioration and the fact that more than one third of the aquatic bird species in the area is probably diminishing (van der Hammen et al. 2008), wetlands in the region still hold a high diversity of birds compared to other areas (e.g. Puget Sound 94 spp; Richter and Azous 2001a. Cabo de Hornos 56 spp; Ibarra et al. 2009. Valle del Cauca 70 spp; Alvarez-López 2009), with the presence of 25% of the wetland birds in the country (Naranjo 1998) and 55% of all the aquatic bird species recorded in the Eastern Andes wetland complex wetlands (van der Hammen et al. 2008). This richness of both terrestrial and aquatic birds is best explained by size and emergent vegetation, as has been found in many wetland systems (Craig and Beal 1992; Findlay and Houlihan 1996; Fairbairn and Dinsmore 2001; Richter and Azous 2001a; Gibbs 2000; Shriver et al. 2004). Large wetlands may hold higher diversity of birds because, besides being inhabited by common area-independent species, they also support scarcer area-dependent species (Brown and Dinsmore 1986; Paracuellos and Tellería 2004; Paracuellos 2006). Large wetlands also hold larger populations with lower risk of extinction (Craig 2008). Emergent vegetation cover holds most of the productivity in wetlands and offers a variety of food and cover (Weller 1999) and several studies have found that these variables are related to species richness (Ma et al. 2010). The low number of species in Torca can also be influenced by the proximity of a large highway, a factor known to reduce aquatic bird richness (Findlay and Houlihan 1996; Richter and Azous 2001a).

Composition of terrestrial birds is not coincident with that of aquatic birds in the set of wetlands studied: the former is more related to the surroundings while the latter depends more on the characteristics of the wetland itself. The quality of the vegetation in the 30m buffer belt influenced the richness of terrestrial birds around wetlands but was not related to waterbird diversity, so evidently this belt, legally the buffer area in the city's wetlands, does not affect the composition of waterbirds as has been found by other researchers that recommend at least 100m width (Keller et al. 1993; Hodges and Krementz 1996) but is important for the general avifauna. The relation between terrestrial bird richness and the vegetation in the immediate surroundings also may reflect the rich insect life offered by wetlands, used by many flycatchers and other passerines that nest and perch in the surrounding trees and shrubs (Weller 1999). Some of the terrestrial species observed in the area were seen frequently on aquatic vegetation (p.e. *Synallaxis subpudica*, *Troglodytes aedon* and *Zonotrichia capensis*). Both Córdoba and Conejera, the two wetlands with highest terrestrial bird richness and indices of vegetation quality in the buffer belt have trees, dense shrubs, dead trees and snags that offer diverse habitats for

terrestrial birds. The vegetation in these wetlands has been planted by neighbors and environmental organizations and stresses the importance of a richly vegetated border for local diversity. The landscape matrix made a difference in the composition of terrestrial birds as Richter and Azous (2001b) also found in the wetlands in the state of Washington, where they found urban (exploiters) and non urban (urban avoiders) birds in the different settings. This is not surprising, since changes in bird communities due to urbanization for diverse reasons are well known (Mills et al. 1989; Melles et al. 2003; Borgmann and Rodewald 2004) and in our opinion analysis should consider terrestrial and aquatic groups separately to be able to address specific management measures according to conservation objectives.

Although water quality is poor both in rural and urban wetlands there are differences in tensioning factors such as dogs and cowbirds (that are more abundant in the city), and the predominant habitats, especially regarding the proportion of open water with low habitat diversity in the rural areas. This is interesting since the most important environmental factors associated with bird guild richness were area and emergent vegetation, and open water area. Apparently the effect of dogs is not as strong as that of wetland area although we have witnessed predation events on rails and they have been identified as disturbing aspects (Sime 1999) and cowbirds only affect a few species in the community.

One conclusion from these comparisons is that the aquatic avifaunas of rural and urban-semiurban wetlands of the Bogotá area are largely complementary. The open-water rural wetlands hold swimmers and divers that are scarce in the heavily vegetated urban and semiurban wetlands; these in turn are rich in rails, vegetation perchers and other groups. Moreover, small open-water or vegetation-covered wetlands are important in adding heterogeneity and holding small populations of important species for conservation; considering the areas together they may add a significant proportion of wetland area and help the movement of individuals between wetlands, thus helping the persistence of populations of some endangered species (Gibbs 1993). There is some evidence of the movement of birds among the wetlands of the Sabana de Bogotá complex, especially for *Chrysomus icterocephalus* which we have seen crossing main highways between Torca and Guaymaral, as well as arriving in newly formed, small temporary wetlands in areas of the city where they did not exist. We have also observed the appearance of *Oxyura jamaicensis*, *Rallus semiplumbeus* and *Gallinula melanops* in manmade reservoirs or wetlands where they were not present before. Some authors (Craig and Beal 1992; Gibbs 1993; Scheffer et al. 2006; Ma et al. 2010) sustain that in terms of conservation,

several small patches may sometimes be better in ensuring the permanence of species in areas under constant threats (it is better not to “have all the eggs in one basket”), especially when small wetlands are closely located in clusters (Brown and Dinsmore 1986). This is partly the case in the studied area where for example, one of the wetlands was drained during the study. Even so, our findings definitely support the importance of large wetlands for conservation. It would be very important to study the migration capacities and movement rates of birds among wetlands in different landscapes. It is evident that the thirteen wetlands present within the city limits, some of which receive some protection and management from environmental agencies, are not enough to preserve the diversity of the important aquatic avifauna of the Bogotá area. There is little effort from the regional environmental agency (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR) to know, manage or protect the wetlands in the area - even large and important ones as Laguna de la Herrera and Gualí that only occasionally receive attention when the local press publishes news items about their degradation.

This is the first comparative, quantitative study of wetland birds and their habitats in the Sabana de Bogotá) and we conclude that in terms of management and restoration priorities, the remaining large wetlands should have a high priority for conservation for they have a higher diversity of water birds, but the set of small natural and artificial wetlands are also important in the maintenance of high habitat heterogeneity, bird populations and regional diversity.

3.6 Acknowledgments

S. De La Zerda, G. Galindo, G. Guillot, O. L. Montenegro, L. M. Renjifo, O. Rangel and the group of doctoral students of the Biodiversity and Conservation emphasis of the Universidad Nacional contributed to the structure of this project. We thank the support and collaboration of the Empresa de Acueducto de Bogotá and owners, administrators and neighbors of the Bogotá wetlands for their help, company and warm welcome, in particular A. Páez, A. Paz, A. Phillips, B. López, C. Gómez, C. Hernández, D. Vélez, G. de Matallana, H. Medellín, J. V. Sánchez, L. Rivera, N. C. Gómez, M. Gómez, P. Camargo, S. Maldonado, Asociación de Propietarios de Meridor, Concesionaria Tibitoc S.A., DISNISSAN, Fundación ADESSA, Fundación ALMA, Fundación FIDHAP and Fundación Humedal la Conejera. L. Agudelo, P. Camargo, A. Morales and N. Moreno of the Asociación Bogotana de Ornitología helped with bird observations. S. De La Zerda, S.

Morales and M. Villaneda were valuable company in the field. We thank M.I. Castro, J. Donato and A. Ramírez for their continuous support and help with the statistical analysis. GIS help and teachings by F. Remolina, L.G. Castro and A. Sarmiento were crucial. The Diatom Laboratory of the Universidad Nacional de Colombia provided the multimetric probe used in the measurement of physicochemical variables. This research was funded partially by the Vicerrectoría de Investigación Sede Bogotá of the Universidad Nacional de Colombia, Asociación Bogotana de Ornitología and BirdLife International. Idea Wild donated part of the equipments used.

3.7 References

- Alvarez-López H (2009). Aves. In Alvarez-López H (ed). Humedales del valle geográfico del río Cauca: génesis, biodiversidad y conservación. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, Cali, pp 116-127
- Asociación Bogotana de Ornitología ABO (2000) Aves de la Sabana de Bogotá, guía de campo. ABO, CAR. Bogotá, Colombia
- Andrade G (1998) Los humedales del altiplano de Cundinamarca y Boyacá. Ecosistemas en peligro de desaparecer. In Guerrero E (ed). Una aproximación a los humedales de Colombia. Fondo FEN, Bogotá, pp 59-72
- Benítez-Castañeda H (2004) Composición de especies de fauna presente en el humedal “El Jaboque” de Engativá. Aves. In: ADESSA. Plan de Manejo Integral y Comunitario para la Recuperación y Protección del Humedal El Jaboque ubicado en la Localidad de Engativá. Informe Final. Fondo para la Acción Ambiental. ECOFONDO. Bogotá, pp 38-63
- Borgmann KL, Rodewald AD (2004) Nest predation in an urbanizing landscape: The role of exotic shrubs. *Ecological Applications*, 14:1757–1765
- Brown M, Dinsmore JJ (1986) Implications of marsh size and isolation for marsh bird management. *J. Wildlife Manage.* 50: 392–397
- Calderón-Reyes LM (2008) Cuantificación de la presencia de perros domésticos (*Canis familiaris*) en humedales rurales y urbanos de la Sabana de Bogotá, Colombia. Tesis de Pregrado. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá
- Calvachi B (2003) La fauna de los humedales de Bogotá y la Sabana. In Guarnizo A, Calvachi B (coord) Los humedales de Bogotá y la Sabana Vol. 1. Acueducto de Bogotá, Conservación Internacional Colombia. Bogotá, pp 109-140

- Caziani SM, Derlindati EJ (1999) Humedales altoandinos del noroeste de Argentina. Su contribución a la biodiversidad regional. In Malvarez AI (ed) Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. UNESCO, Montevideo, pp 1-14
- Craig RJ (2008) Determinants of species-area relationships for marsh-nesting birds. *J. Field Ornithol.* 79:269–279
- Craig RJ, Beal KG (1992) The influence of habitat variables on marsh bird communities of the Connecticut River estuary. *Wilson Bul.* 104:295-311
- DeLuca WV, Studds CE, Rockwood LL, Marra PP (2004) Influence of land use on the integrity of marsh bird communities of Chesapeake bay, USA. *Wetlands* 24:837-847.
- Departamento Administrativo del Medio Ambiente DAMA (2006) Política de Humedales del Distrito Capital. Bogotá
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) and Conservación Internacional Colombia (CI). 2005. Diseño de investigación aplicada a la restauración ecológica del Humedal Juan Amarillo. Bogotá.
- Euliss NH Jr, Smith LM, Wilcox DA, Browne BA (2008) Linking ecosystem processes with wetland management goals: charting a course for a sustainable future. *Wetlands* 28: 553–562
- Fairbairn SE, & Dinsmore JJ (2001) Local and landscape level influences on wetland bird communities of the prairie pothole region of Iowa, USA. *Wetlands* 21:41-47.
- Findlay CS, Houlihan J (1997) Anthropogenic correlates of species richness in southeastern Ontario wetlands. *Conservation Biology* 11:100-1009
- Fjeldsa J (1985) Origin, evolution, and status of the avifauna of Andean wetlands. In Buckley PA, Foster MS, Morton ES, Ridgely RS, Buckley FG (eds) Neotropical Ornithology. Ornithological Monographs No. 36. American Ornithologists Union. Lawrence, Kansas, pp 85-112
- Gibbs JP (1993) Importance of small wetlands for the persistence of local populations of wetland-associated animals. *Wetlands* 13:25-31
- Gibbs JP (2000) Wetland loss and biodiversity conservation. *Conservation Biology* 14:314-317
- Guhl, E (1981) La Sabana de Bogotá, sus alrededores y su vegetación. Jardín Botánico José Celestino Mutis – Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1):9pp.

- Hodges ME Jr, Krementz DG (1996) Neotropical migratory breeding bird communities in riparian forests of different widths along the Altamaha River, Georgia. *Wilson Bull.*, 108:496-506
- Horner RR (2001) Introduction. In Azous AL, Horner RR (eds) *Wetlands and urbanization. Implications for the Future*. CRC Press, Florida, pp 3-28
- Ibarra JT, Rozzi R, Gilabert H, Anderson CB, McGehee SM, Bonacic C (2009) Dinámica estacional y patrones de distribución de la avifauna asociada a humedales subantárticos en la Reserva de Biosfera Cabo de Hornos (54–55°s), Chile. *Ornitología Neotropical* 20:321-337
- Keller CM, Robbins CS, Hatfield JS (1993) Avian communities in riparian forests of different widths in Maryland and Delaware. *Wetlands* 13: 137–144
- Legendre P, Legendre L (1998) *Numerical Ecology. Developments in environmental modeling* 20. Elsevier B.V. Amsterdam.
- Leps J, Smilauer P (2003) *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U.K.
- López H F, Otálora A (2005) Evaluación de las amenazas para la fauna silvestre vertebrada presente en el humedal Jaboque y desarrollo de propuestas para su mitigación. In Rangel-Ch JO (director), Parra LN (scientific coord.) *Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque. Convenio de cooperación científica y técnica entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Universidad Nacional de Colombia. Final Report Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Universidad Nacional de Colombia (UN), Bogotá, pp 387-427*
- Lozano IE (1993) Observaciones sobre la ecología y el comportamiento de *Rallus semiplumbeus* en el humedal de La Florida, Sabana de Bogotá. Asociación Bogotana de Ornitología ABO. Final Report. Bogotá
- Ma Z, Cai Y, Li B, Chen J (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. *Wetlands* 30:15-27
- Macana DC (2007) Composición, estado y perspectivas de conservación de la avifauna acuática del lago de Tota, Boyacá, Colombia. Tesis de Grado. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja
- Magurran AE (1988) *Ecological diversity and its measurement*. Princeton Univ. Press. Princeton, N.J.

- Melles, S., S. Glenn, and K. Martin. 2003. Urban bird diversity and landscape complexity: Species– environment associations along a multiscale habitat gradient. *Conservation Ecology* 7(1): 5. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss1/art5>
- Mills GS, Dunning JB Jr, Mates JM (1989) Effects of Urbanization on Breeding Bird Community Structure in Southwestern Desert Habitats. *Condor* 91:416-428
- Morales-Rozo A, De La Zerda S (2004) Caracterización y uso del hábitat del Cucarachero de Pantano *Cistothorus apolinari* (Troglodytidae) en humedales de la Cordillera Oriental de Colombia. *Ornitología Colombiana* 2:4-18
- Morales-Rozo A, Andrade G, Rosas ML (2007) Aves acuáticas en las lagunas de Fúquene, Cucunubá y Palacio. Inventario, estado actual e importancia para la conservación. In: Franco-Vidal L, Andrade G (eds) Fúquene, Cucunubá y Palacio. Conservación de la biodiversidad y manejo sostenible en un ecosistema lagunar Andino. Fundación Humedales e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia, pp 153-182
- Naranjo, LG (1998) Avifauna acuática residente y migratoria en Colombia. In: Guerrero E (ed) Una aproximación a los humedales en Colombia. Fondo FEN Colombia. Bogotá, Colombia, pp 49-57
- Osbahr K, Gómez NC (2006) Uso de hábitat de la avifauna en el humedal Guaymaral (Cundinamarca, Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica* 9: 157-168
- Patton DR (1975) A diversity index for quantifying habitat "edge". *Wildlife Society Bulletin* 3:171-173
- Paracuellos M (2006) How can habitat selection affect the use of a wetland complex by waterbirds? *Biodiversity and Conservation* 15:4569–4582
- Paracuellos M, Tellería JL (2004) Factors affecting the distribution of a waterbird community: the role of habitat configuration and bird abundance. *Waterbirds* 27:446-453
- Pedraza L (2001) Contribución al estudio del comportamiento reproductivo y alimenticio de *Gallinula melanops bogotensis* (Aves: Gruiformes: Rallidae) en el humedal Laguna de la Herrera, Cundinamarca. Tesis de pregrado, Proyecto Curricular Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias y Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá
- Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) – Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (2006a) Plan de Manejo Ambiental del Humedal de Techo.

- Formulación y/o actualización de los planes de manejo ambiental de los humedales de Techo y La Vaca. Bogotá
- Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) – Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (2006b) Plan de manejo ambiental humedal de Jaboque. Convenio No. 9-07-24100-086-2006 Instituto de Estudios Ambientales – IDEADE. Facultad de Ciencias, Facultad de Ingeniería. Bogotá
- Quiroga V (2010) Algunos aspectos de la calidad del agua de los humedales de la Sabana de Bogotá y su relación con la diversidad de aves acuáticas. Tesis de Pregrado. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá
- Rangel-Ch JO (2003) El antiguo lago de la Sabana de Bogotá, su vegetación y su flora en el tiempo. In Guarnizo A, Calvachi B (coord) Los humedales de Bogotá y la Sabana, Vol. 1. Acueducto de Bogotá, Conservación Internacional Colombia. Bogotá, pp 53-68
- Renjifo LM, Franco-Maya AM, Amaya-Espinel JD, Kattan GH, López-Lanús B (eds.) (2002) Libro rojo de aves de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Naturales Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.
- Richter KO, Azous AL (2001a) Bird distribution, abundance and habitat use. In Azous AL, Horner RR (eds) Wetlands and urbanization. Implications for the Future. CRC Press, Florida, pp 167-200
- Richter KO, Azous AL (2001b) Bird communities in relation to watershed development. In Azous AL, Horner RR (eds) Wetlands and urbanization. Implications for the Future. CRC Press, Florida, pp 275-284
- Rodríguez-Grisales AF (2007) Estudio de las poblaciones de la Tingüa Moteada (*Gallinula melanops bogotensis*) en algunas lagunas y cuerpos de agua de fincas privadas en los municipios de Guasca y La Calera, Cundinamarca, Colombia. Tesis de Grado. Depto. de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá
- Rodríguez-Mahecha JV (2000) Síntesis del estado actual de los humedales de Bogotá. Recuperación de los humedales de la Sabana de Bogotá. Alternativa hacia su viabilidad ecológica y social. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y Conservación Internacional Colombia (CI). Bogotá
- Rosselli L (2011) Factores ambientales relacionados con la presencia y abundancia de algunas especies de aves de los humedales de la Sabana de Bogotá. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- Schaumburd K., Giuliano WM, Lagellotto GA (in press) Avian-habitat relationships in urban and suburban tidal marshes of Connecticut. *Urban Habitats* 6
- Scheffer M, van Geest GJ, Zimmer K, Jeppensen E, Sondergaard M, Butler MG, Hanson MA, Declerck S, De Meester L (2006) Small habitat size and isolation can promote species richness: second-order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds. *Oikos* 112:227-231
- Seigel A, Hatfield C, Hartman JM (2005) Avian response to restoration of urban tidal marshes in the Hackensack meadowlands, New Jersey. *Urban Habitats* 3:1541-7115
- Shriver WG, Hodgman TP, Gibbs JP, Vickery PD (2004) Landscape context influences salt marsh bird diversity and area requirements in New England. *Biological Conservation* 119:545-553
- Sime C A (1999) Domestic Dogs in Wildlife Habitats. In: Joslin G, Youmans H (coord) *Effects of recreation on Rocky Mountain wildlife: A Review for Montana*. Committee on Effects of Recreation on Wildlife, Montana Chapter of The Wildlife Society, pp 8.1-8.17
- SPSS Inc. (2007) *SPSS Base 16.0 for Windows User's Guide*. SPSS Inc., Chicago IL.
- Tabachnick BG, Fidell LS (2007) *Using multivariate statistics*. 5th edition. Pearson Education Inc. Boston
- Tellería JL, Venero JL, Santos T (2006) Conserving birdlife of Peruvian highland bogs: effects of patch-size and habitat quality on species richness and bird numbers. *Ardeola*: 53: 271-283.
- Ter Braak CJ (1988) *Canoco: A Fortran program for canonical community ordination*. Microcomputer Power, Ithaca, New York
- van der Hammen T (2003) Los humedales de la Sabana: origen, evolución, degradación y restauración. In Guarnizo A, Calvachi B (coord) (2003). *Los humedales de Bogotá y la Sabana, Vol. 1. Acueducto de Bogotá, Conservación Internacional Colombia*. Bogotá, pp 19-51
- van der Hammen T, Stiles FG, Rosselli L, Chisacá ML, Camargo G, Guillot G, Useche Y, Rivera D (2008) *Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos*. Secretaría Distrital de Ambiente –SDA, Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá
- Vásquez C, Ariza A, Pinilla G (2006) Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. *Universitas Scientiarum* 11: 61-75

- Villaneda M (2010) Abundancia del chamón *Molothrus bonariensis* (Icteridae) en 19 humedales de la Sabana de Bogotá (Colombia). Tesis de Pregrado. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá
- Weller MW (1999) Wetland Birds. Habitat Resources and Conservation Implications. Cambridge Univ. Press. Cambridge UK
- Zerda E, Del Valle-Useche CM, Hernández V, Rueda-C LE (2005) Uso de habitat de la avifauna del humedal Jaboque. In Rangel-Ch JO (director), Parra LN (scientific coord.) Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque. Convenio de cooperación científica y técnica entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Universidad Nacional de Colombia. Final Report Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Universidad Nacional de Colombia (UN), Bogotá, pp 476-511

4. Capítulo 4. Local and landscape environmental factors are important for the conservation of endangered wetland birds in a high Andean plateau

Loreta Rosselli^a and F. Gary Stiles^b

Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7945 Bogotá, Colombia. ^alrossellis@unal.edu.co, ^bfgstiles@unal.edu.co

Corresponding author: Loreta Rosselli, Tel. (57) 310-855-2961, Fax (57-1) 316-5365, calle 109 No. 21-10 Int.8, Bogotá, Colombia, lrosselli@yahoo.com

Sometido a la revista Waterbirds (Anexo C)

4.1 Abstract

The Bogotá wetland complex is threatened by growing urbanization and human intervention, placing several endemic bird taxa at risk. Using GIS and high definition remote sensor images and bird population estimations in 19 wetlands, we evaluated the influence of landscape and local habitat characteristics on the abundance of seven wetland birds in the area. Wetlands either had a high proportion of vegetation cover due to eutrophication (mostly in urban landscapes) or were mostly open water with less emergent vegetation (mostly rural landscapes). Bird abundance was related to wetland size in all species while densities of *Oxyura jamaicensis* and *Gallinula melanops* were negatively related to urban landscapes and positively to open water or tiny floating vegetation. The densities of endangered *Rallus semiplumbeus* and *Cistothorus apolinari* were related to wetland and bulrush areas, while the urban-resistant *Gallinula galeata* was associated with wetland proximity and shape; *Fulica americana* populations were denser in wetlands with a high proportion of woody vegetation in the surrounding landscape and extensive tiny floating vegetation while those of *Chrysomus icterocephalus* were negatively related to open water area. The situation of *C. apolinari* is critical and possibly explained by *Molothrus bonariensis* parasitism. Many aquatic bird species, including several endangered ones, are still present in the Sabana de Bogotá, largely due to the differences

in both vegetation covers and landscape characteristics in the remaining wetlands. The bias in public investment in conservation and management towards urban wetlands benefits only some of these species, and we strongly recommend that a regional approach be implemented.

Keywords: Andean wetlands, endangered birds, urbanization, Bogotá, habitat, landscape

4.2 Introduction

Isolated by thousands of kilometers from other montane wetland areas in South America, the wetland complex of Colombia's Eastern Andes represents a major center of waterbird evolution and endemism (Fjeldså, 1985). These wetlands formerly occupied a major portion of the highland plain of Cundinamarca and Boyacá departments. The southern and formerly most extensive part of this wetland complex lies in the Bogotá region, known as the Sabana de Bogotá. The explosive growth of the capital city of Bogotá (now with a population of nearly eight million) in the last century has severely affected these wetlands and their avifauna. Landfills, urbanization and drainage are the main causes for the disappearance of more than 97% of the Sabana's wetland area (Andrade, 1998). This has led to the extinction of one endemic species and two subspecies, while populations of most of the remaining endemic taxa are threatened to varying degrees (Renjifo et al., 2002). The critical situation of these ecosystems and the growth of conservation awareness has increased the number of studies of the wetlands of the Bogotá area and their birds (e.g. Calvachi, 2003; Morales-Rozo and De La Zerda, 2004; Rodríguez-Mahecha, 2000; van der Hammen et al., 2008; Zerda et al., 2005). However, there has been no quantitative study of the remaining populations of the endangered bird species that live in these wetlands to identify their key ecological requirements at both the wetland and landscape levels. Restoration actions within particular urban wetlands have sought to create a diversity of habitats to favor diversity of the biota including endangered birds (Castiblanco, 2005, 2007; PUJ and EAAB, 2006a, 2006b) but without detailed knowledge of the priority habitat and area requirements of these species (Grayson et al., 1999).

Several studies have measured the community response of waterbirds to wetland characteristics (Brown and Dinsmore, 1986; Craig and Beal, 1992; DeLuca et al., 2004; González-Gajardo et al., 2009). Individual species often have differing habitat requirements: some are dependent on local wetland characteristics while others depend also on landscape composition (Fairbairn and Dinsmore, 2001a; Naugle et al., 2001; Riffel

et al., 2003; Shriver et al., 2004). Wetland area (Ritter and Savidge, 1999), wetland trophic status (Hoyer and Canfield, 1994), open water area, vegetation density, proportion of emergent vegetation cover including specific plant types such as bulrushes (*Schoenoplectus californicus*), sedges (*Carex* sp.), cattail (*Typha* spp.), and common reed cover (*Phragmites communis*) (Fairbairn and Dinsmore, 2001a; Kaminski and Prince, 1984; Morales-Rozo and De La Zerda, 2004; Murkin et al., 1997; Ritter and Savidge 1999) have been found to determine presence and/or abundance of the same or similar bird species to those of the Bogotá region. Other important factors include changes in water level (González-Gajardo et al., 2009), landscape wetland density (Brown and Dinsmore, 1986, Fairbairn and Dinsmore, 2001a), habitat diversity, vegetation-water interspersions, water quality, and macroinvertebrate density (Horner, 2001; Longcore et al., 2006). Few of these factors have been studied with respect to waterbird populations in the Eastern Andes plateau (Macana, 2007; Morales-Rozo and De La Zerda, 2004; Osbahr and Gómez, 2006; Rodríguez-Grisales, 2007; Zerda et al., 2005). The local (mostly restricted to single wetlands) and nonquantitative nature of these studies makes it difficult to draw general conclusions. There are also some studies on the habitats used by birds but without taking into account their availability (Osbahr and Gómez, 2006; Zerda et al. 2005), therefore it is difficult to determine preferences.

Our objective was to evaluate the abundance and densities of a group of aquatic bird species of a representative series of wetlands of the Sabana de Bogotá, with respect to landscape, habitat, water and other characteristics of wetlands, in order to identify the most important factors that determine their populations, their habitat preferences and thereby provide management and conservation tools.

4.3 Methods

4.3.1 Study area

We studied 19 wetlands of the Sabana de Bogotá of varied sizes, landscape composition, vegetation covers and bird assemblages. The Sabana is located at 2600m, with a mean annual temperature of 13.5°C and mean annual rainfall between 500 and 700mm (Guhl, 1981). The area includes the country's capital, Bogotá, and its surrounding landscape with agricultural and industrial developments, roads of different sizes and smaller towns. The Sabana, including its wetlands, has been subject to human intervention for more than

5000 years (van der Hammen, 2003), making it difficult to assess the age and natural or artificial condition of wetlands.

4.3.2 Wetland Features

In each wetland we measured dimensions (area, perimeter, index of perimetral complexity IPC using the formula: length of perimeter divided by the circumference of a circle with the same area (Patton, 1975), habitat composition, landscape characteristics, distance to the nearest neighboring wetland with at least 1ha (Gibbs, 1993) and other factors possibly affecting birds such as the presence of dogs (Calderón-Reyes, 2008), physical and chemical characteristics of water (Quiroga, 2010; Rosselli, 2011) and the numbers of Shiny Cowbirds (*Molothrus bonariensis*), a brood parasite (Villaneda, 2010; Rosselli, 2011). Since dogs are not very mobile in the entire area of each wetland and remain mostly on the borders, we used the number of dogs/km of wetland perimeter as a measure of density; since cowbirds are very mobile and fly easily throughout each wetland, we used total number of cowbirds as an indicator variable.

To measure habitat and landscape characteristics we made vegetation maps on a 1:2000 scale using high-definition images from Google Earth dated 2008-2010 for most (15) wetlands. Where such images were not available, we used either a 2007 Ikonos image, a 2007 Landsat image or aerial photographs from the 90's and 2008 provided by Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. For habitat measurement within wetlands we classified vegetation into 11 habitat types related to bird use, based on van der Hammen et al. (2008) and Weller (1999) (Table 4-1). We corrected all maps in the field. We calculated habitat diversity with a Shannon Diversity Index, taking into account de number of different habitat types and their respective areas (Magurran, 1988).

Table 4-1: Environmental characteristics of wetlands and the landscape surrounding mapped and quantified in 19 wetlands in the Sabana de Bogotá, Colombian Andes. Habitat types based on van der Hammen et al. 2008 and Weller 1999). Details and maps for each wetland in Rosselli (2011), Anexo A and Anexo B.

Level	Variable	Mean	Min.	Max.	CV	Description	Typical species and notes
Wetland – Habitats	Mudflats ha	0.01	0.00	0.20	4.31	Muddy areas without vegetation	
	Open water ha	7.21	0.00	28.96	1.23	Clear surface with varying water depths and	<i>Potomageton</i> sp., <i>Elodea</i> or none

Level	Variable	Mean	Min.	Max.	CV	Description	Typical species and notes
						submerged vegetation.	
	Floating carpet ha	1.23	0.00	5.14	1.24	Tiny floating vegetation	<i>Azolla filiculoides</i> , <i>Lemna gibba</i> , sometimes <i>Limnobium laevigatum</i>
	Floating vegetation ha	7.18	0.00	79.08	2.62	Dense mat of larger floating plants	<i>Limnobium laevigatum</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Ludwigia sp.</i>
	Emergent vegetation ha	15.06	0.01	101.9	1.82	Rooted macrophytes with aerial parts forming a dense mat between 15 and 50cm enough to hide a bird.	<i>Polygonum spp.</i> , <i>Hydrocotyle sp.</i> , <i>Rumex sp.</i> , <i>Bidens laevis</i>), sometimes mixed with kikuyu grass (<i>Pennisetum clandestinum</i>).
	Sedge clumps ha	0.36	0.00	4.32	2.81	Small clumps (<1m) with spaces between them	(<i>Juncus effusus</i> , <i>Carex</i> and <i>Cyperus spp.</i>).
	Cattails ha	2.85	0.00	29.38	2.33	Dense mat of plants up to 3m with no space between bases of leaves	<i>Typha angustifolia</i>
	Bulrushes ha	9.49	0.00	50.35	1.45	Large continuous clumps of bulrushes up to 4m tall growing in water occasionally mixed with some grass or dock	<i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Pennisetum clandestinum</i> , <i>Rumex obtusifolius</i> .

Level	Variable	Mean	Min.	Max.	CV	Description	Typical species and notes
	Woody vegetation ha	0.02	0.00	0.10	1.59	Shrubs and small trees that grow on islands	Varied but <i>Baccharis</i> spp., <i>Salix humboldtiana</i> , <i>Ricinus comunis</i> , and <i>Sambucus peruviana</i> are common.
	Grassland ha	0.84	0.00	6.34	1.88	Invading African grass	<i>Pennisetum clandestinum</i>
	Constructions ha	0.06	0.00	0.35	1.54	Manmade structures in the wetlands.	Includes roads and construction debris
	SDI	1.19	0.28	1.69	0.35	Shannon Habitat diversity Index	Calculated with Patch Analyst extension for ArcGis®
Wetlands - general	Area (ha)	44.84	2.7	258.49	1.49	Total area of wetland	
	Index of Perimetral Complexity	2.95	1.23	5.10	1.49	Length of perimeter divided by the circumference of a circle with the same area	(Patton 1975)
	Distance to nearest wetland km	0.97	0.02	3.33	1.02	From border to border	
	Dogs/Km	3.51	0.00	16.00	1.05	Domestic and feral dogs that roam around wetlands and may prey on birds and nests	Data obtained in associated research (Calderón 2008)

Level	Variable	Mean	Min.	Max.	CV	Description	Typical species and notes
	Total Shiny Cowbirds	32.32	0.00	270.27	1.99	Parasitizes <i>Cistothorus apolinari</i> and <i>Chrysomus icterocephalus</i>	Data obtained in associated research (Villaneda and Rosselli 2010)
Wetlands – water quality	Total Dissolved Solids (g/l)	493.29	111.13	1485.17	0.82		Data obtained in associated research (Quiroga and Rosselli 2010)
	Dissolved Oxygen (mg/l)	0.38	0.00	2.02	1.43		Data obtained in associated research (Quiroga and Rosselli 2010)
	pH	6.19	2.16	7.54	0.24		Data obtained in associated research (Quiroga and Rosselli 2010)
Landscape	Vegetation Quality Buffer Belt	1.41	0.42	2.34	0.36	30m legal belt around city's wetlands (DAMA 2006)	Mostly grass (<i>Pennisetum clandestinum</i>) and small trees where <i>Sambucus peruviana</i> , <i>Baccharis</i> spp., <i>Salix humboldtiana</i> , <i>Pittosporum undulatum</i> are common
	Matrix Proportion Woody Veg.	0.10	0.03	0.26	0.55	Proportion in area 500m around wetland	Common trees include introduced species <i>Eucalyptus</i> spp., <i>Salix humboldtiana</i> , <i>Fraxinus chinensis</i> , <i>Acacia</i> spp.

Level	Variable	Mean	Min.	Max.	CV	Description	Typical species and notes
	Matrix proportion water bodies	0.02	0.00	0.05	0.83	Proportion in area 500m around wetland	Includes channels, small streams, neighboring wetlands
	Matrix proportion manmade structures	0.30	0.01	0.86	0.83	Proportion in area 500m around wetland	Urbanized areas, streets, roads, greenhouses
	Matrix proportion low veg.	0.58	0.09	0.94	0.41	Proportion in area 500m around wetland	Cattle pasture <i>Pennisetum clandestinum</i> , vegetable crops

We evaluated the vegetation of the 30m legal buffer belt (DAMA, 2006) around each wetland, assigning values of 0 (no protecting vegetation), 1 (short vegetation including grass and cultivated lands containing trees in up to 10% of the area), 2 (dispersed trees in densities between 10 and 50% of the area), or 3 (woody vegetation with tree density over 50% of the area). We multiplied each value by the proportion of the belt covered by that type of vegetation and then added the products to obtain a vegetation quality index ranging from zero (no vegetation in the belt) to three (woodland covering the belt completely).

In the 500m matrix around each wetland we mapped and measured the area covered by manmade structures (roads, buildings, greenhouses), woody vegetation, low vegetation (pastures and cultivated lands) and water bodies (channels, streams, rivers, wetlands). We then calculated the proportion of each cover in the matrix as a measure of the influence of the surrounding landscape. A detailed discussion of the characteristics of each wetland and its bird community is given by Rosselli (2011); here we focus on the effects of local and landscape characteristics of a set of selected bird species.

4.3.3 Birds

We chose seven species of wetland birds representing various families and habitat preferences based on their degree of endemism, conservation status, and importance in the city (Table 4-2). We evaluated bird populations using point counts (Ralph et al., 1993)

located on fixed sites with good visibility along wetland borders, which is appropriate for organisms related to heterogeneous habitat (Bibby et al., 2000). We spent 10 minutes at each point recording all birds seen or heard at unlimited distance, their species, obvious age or reproductive conditions, numbers, distance to the observer and vegetation cover in which they were found. Accurate measurements of distance were obtained through constant calibration of observers' calculations with an electronic distance measurer (Sonin Combo Pro). Incorporating distance to the observer permits the calculation of densities through program Distance (Thomas et al., 2010) which takes into account the detectability of each species in different habitats (Bibby et al., 2000). We also played songs of secretive species (*Rallus semiplumbeus* and *Cistothorus apolinari*) in the last 2 minutes of each observation period (Brown and Dinsmore, 1986; Mancini and Rusch, 1988). The number of sampling points in each wetland ranged from 2 to 11 depending upon wetland size (Fairbairn and Dinsmore, 2001b). Distance between points was always more than 150m (Bibby et al., 2000; Ralph et al., 1993) to avoid counting the same individuals more than once. The observed area from each point had a semicircular shape in most cases since points were located at the edge of wetlands and calculations were corrected accordingly. Observations were made between sunrise and four hours later (Fairbairn and Dinsmore, 2001b; Ralph et al. 1993). Although our study focused on the seven mentioned species, we noted the presence of any other bird species detected. We visited each wetland three times (July-August and September-October 2009, and February-March 2010) including dry and wet seasons and northern migration periods in the region. We then calculated density and abundance for each wetland and each sampling period using Distance (Thomas et al., 2010) exploring different model combinations as suggested for point counts (Buckland et al., 1993) and choosing the best fit according to the minimum value of the Akaike information criterion (AIC) (Buckland et al., 1993). Calculations were based on the probability of detection in each wetland since they had different visibility conditions. We truncated the farthest 10% of the observations as recommended for point counts (Buckland et al., 2004). We chose the most plausible density estimate for each species in each wetland as the value of the population for the wetland. When data were too few to calculate densities, or wetland size and visibility permitted reliable complete direct counts of the populations, or data obtained by Distance were clearly unrealistic due to heterogeneity of the vegetation, we adjusted these estimates based upon the size of the wetland, area of each habitat and observations of each species.

Table 4-2: Focal bird species included in the study with degree of endemism, conservation status, and typical habitat where found according to ABO (2000), van der Hammen et al. (2008). After the names of species are the abbreviations used in Figure 4-2.

Species/subspecies	Taxon Endemism₁	Threat Global/national₂	Typical habitats₃
<i>Oxyura jamaicensis andina</i> (Ruddy Duck) (oj)	c	LC/en	OW
<i>Rallus semiplumbeus</i> (Bogota Rail) (rs)	E	EN/en	BU, EV
<i>Gallinula galeata</i> (Common Gallinule) (gg)	wd	LC/lc	FV, EV
<i>Gallinula melanops bogotensis</i> (Spot-flanked Gallinule) (gm)	e	LC/cr	FC, OW
<i>Fulica americana columbiana</i> (American coot) (fa)	c	LC/lc	OW, V F
<i>Cistothorus apolinari</i> (Apolinar's Wren) (ca)	E	EN/en	BU
<i>Chrysomus icterocephalus bogotensis</i> (Yellow-hooded Blackbird) (ci)	e	LC/ne	BU, EV

¹ E: Species endemic to wetlands of northern eastern Andes mountain range of Colombia, e: Subspecies endemic a wetlands of northern eastern Andes mountain range of Colombia, c: Subspecies endemic to Colombia (also present in other mountain ranges or elevations), wd: widely distributed, ne: not evaluated
² Threat Category: CR: critically endangered, EN: endangered, LC: least concern following Renjifo et al. (2002)
³ BU: Bulrushes, EV: emergent vegetation, FC: floating carpet, FV: floating vegetation OW: open water,

4.3.4 Data analysis

After having reduced highly correlated environmental variables as redundant we performed a principal components analysis (PCA) on the on the transformed variables with SPSS 16.0 (SPSS Inc., 2007) using the normalized Varimax rotation algorithm to further reduce the number of variables and simplify the interpretation of the relationship between bird populations and habitat characteristics (Tabachnick and Fidell, 2007). We obtained six components (hereafter referred to as factors (**F**) 1 through 6) using the broken-stick model to select ordination axes (Table 3-5) (Legendre and Legendre, 1998; Leps and Smilauer, 2003).

After performing a Detrended Correspondence Analysis in which we found that our data where not too heterogeneous and a linear method was appropriate (Leps and Smilauer, 2003) we used redundancy analyses (RDA) with CANOCO (Ter Braak, 1988) to examine the relation between bird densities and abundances and the six factors from the PCA. In this analysis we used a forward selection with Montecarlo tests (1000 permutations) to

extract the most important and significant environmental factors for bird densities and abundances (Leps and Smilauer, 2003).

We used stepwise multiple regressions to determine the relative importance of these factors in the prediction of bird density and population size for each species. Bird density and abundance data were transformed (square root or log in most cases) to improve the normality of distributions and to draw univariate outliers nearer to the center of a distribution (Tabachnick and Fidell, 2007).

Based on the number of records of each of the seven species of bird in each habitat and the total area of each habitat measured in wetlands, we calculated a standardized habitat selection index B_i for each species (Krebs, 1999; Manly et al., 2004), $B_i = w_i / (\sum_{i=1}^n w_i)$, where $w_i = o_i / p_i$ where o_i is the proportion of records of habitat i for the species and p_i is the proportion of habitat i available in the environment). The ratio $1/(\text{number of habitats})$ indicates no preference, lower values indicate avoidance and higher values indicate preference (Krebs, 1999). We excluded mudflats from these calculations since this habitat was restricted to small patches at the shoreline or obscured by vegetation and therefore difficult to detect and measure with the satellite images used.

4.4 Results

4.4.1 Wetlands

Wetlands in the study area ranged from 2.7 to 258.49 ha, mostly (13/19) with areas under 30ha. The shape indices were also diverse with values between 1.23 in almost round wetlands and 2.95 in narrow, highly fragmented ones (by streets or trails) both in the city and rural areas. Mean distance between wetlands was relatively small (0.97km) with some wetlands being as close as 20m to the next in dense wetland complexes, up to 3.33km in an expanding urban area (Table 4-1). The number of dogs/km ranged from 0 in a completely fenced and controlled city wetland to 16 in a densely populated, depressed sector where dogs were poorly fed and left outside the houses. Dog density tended to be higher in urban wetlands than in rural ones (Calderón-Reyes, 2008; Rosselli, 2011) as was the number of cowbirds, which varied from 0 in several rural wetlands to 270 in a large city wetland (Table 4-1). Wetlands were classified as urban, semiurban and rural according to the proportion of manmade structures in the matrix (Table 3-5, Rosselli, 2011).

Habitat composition in the wetlands was highly diverse with mostly rural wetlands composed almost entirely of open water with low habitat diversity (SDI =0.28) to mostly urban wetlands with a high interspersed of different habitats and high diversity (SDI =1.69). The cover with highest areas was emergent vegetation, followed by bulrushes, open water and floating vegetation. Mudflats, woody vegetation growing in wetlands, manmade constructions and sedge clumps were poorly represented with very limited areas. Total dissolved solids values varied between 111.13 g/l and 1485.17; dissolved oxygen went from zero to 2.02 mg/l). pH values ranged from acidic values of 2.16 to 7.54 (Table 4-1; see Anexo A for maps of each wetland).

The vegetation quality indices of the 30m buffer belts varied between 0.42 in a semiurban wetland where houses reached the shore in some places to 2.34 in a rural wetland with numerous trees. Other high values were found in the city where neighbors or government offices take care of the green areas bordering wetlands. The diversity of landscape matrices of the studied wetlands is reflected in the wide variation in the proportion of manmade structures (1% to 86%), although the type of vegetation present is mostly low (pastures, especially in rural areas) compared to woody vegetation. The percentages of water bodies in the matrices were low (mean 2%; maximum 5%) (Table 4-1, Anexo B).

The six factors obtained from the environmental variables explain 80.1% of the variance. **F1** is dominated by area-related variables (bulrush, total wetland area and emergent vegetation area) and cowbird abundance so this component is a good measure of wetland size and vegetation cover. **F2** is negatively associated with proportion of low vegetation and positively with the proportion of manmade structures in the matrix, so it is a good measure of urbanization of the landscape. **F3** is dominated by the area and proportion of sedge present in the wetlands. The highest loadings on **F4** are the proportion of woody vegetation in the matrix and the proportion of floating carpet habitat in wetlands. **F5** is a measure of closeness to other wetlands and perimeter complexity and **F6** is mostly related to open water area, open water proportion and pH (Table 3-5).

4.4.2 Birds

We recorded a total of 115 species in the 19 wetlands, 40 of them aquatic. Richness of aquatic birds ranged from 7 to 28. Among the focal species, *G. galeata* was found in most

(18/19) wetlands and *C. apolinari* in the least (4). *R. semiplumbeus* was present in 12 wetlands and the remaining species were present in 14 or more (Table 4-3).

We found the highest densities for *Oxyura jamaicensis* in a rural wetland (17.4 ind/ha) and densities below 7 ind/ha in the rest of the wetlands. *G. galeata* and *F. americana* had more consistent high densities (>7 ind/ha) in some of the wetlands in which they occur. *C. apolinari* had the lowest densities (from 0.04 to 0.3 ind/ha) followed by *R. semiplumbeus* (Table 4-3). Although only environmental factors **F2** and **F4** were significant ($p < 0.05$) in explaining bird densities when analyzed as an assemblage, some patterns are evident. **F1, F2, F3** and **F5** were intercorrelated and negatively related to **F6**. Densities of *F. americana* and *Gallinula melanops* were positively associated with **F6**, while *G. galeata*, *Chrysomus icterocephalus*, *C. apolinari* and *R. semiplumbeus* formed a contrasting group with densities positively related to **F1, F2, F3** and **F5**. *O. jamaicensis* density was positively related to **F6** and negatively related to **F2** and **F4** (Figure 4-1 a).

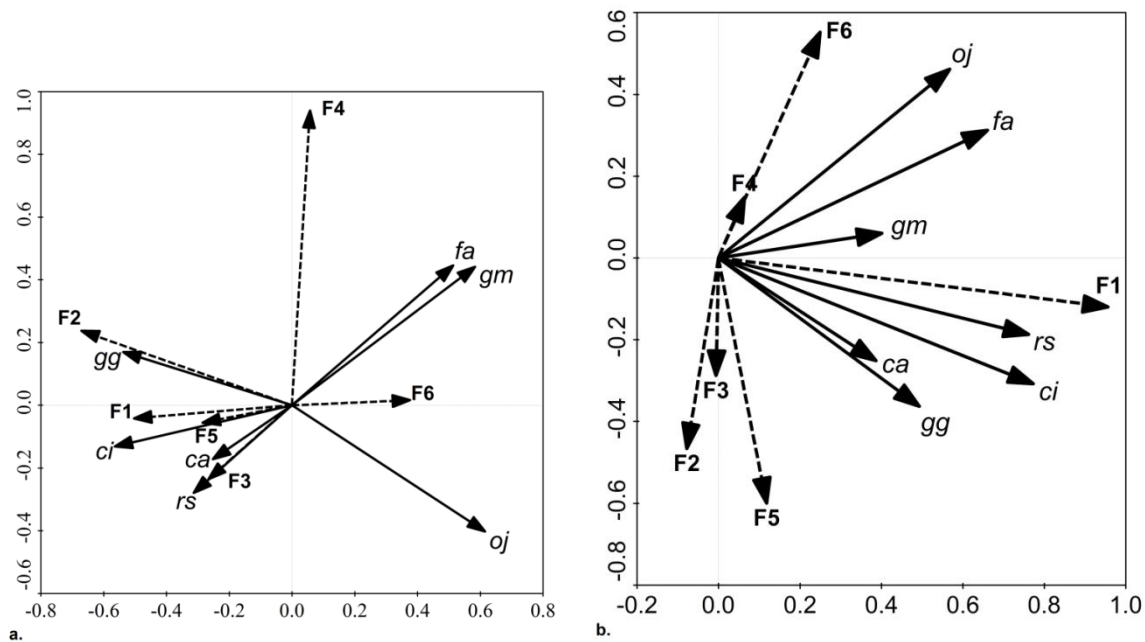
Table 4-3. Densities ind/ha and abundances of selected wetland bird species of the Sabana de Bogotá wetlands studied between July 2009 and March 2010. Densities (ind/ha) and abundances were calculated using Distance (Thomas et al. 2010) where possible or through direct observation.

Landscape ¹	Wetland	Densities							Abundances						
		<i>Oxyura jamaicensis</i>	<i>Rallus semiplumbus</i>	<i>Gallinula galeata</i>	<i>Gallinula melanops</i>	<i>Fulica americana</i>	<i>Cistothorus apolinari</i>	<i>Chrysomus icterocephalus</i>	<i>Oxyura jamaicensis</i>	<i>Rallus semiplumbus</i>	<i>Gallinula galeata</i>	<i>Gallinula melanops</i>	<i>Fulica americana</i>	<i>Cistothorus apolinari</i>	<i>Chrysomus icterocephalus</i>
R	Ceuta	2.4	1.4	1.1	1.0	1.4	0.0	1.4	34	20	16	14	20	0	20
SU	Colina	0.7	0.8	2.4	1.1	6.4	0.0	0.8	8	8	25	11	67	0	8
SU	Conejera	5.6	1.6	8.6	1.3	10.3	0.1	10.1	123	34	189	29	224	2	220
U	Córdoba	0.0	0.0	15.6	0.0	2.3	0.0	5.2	0	0	230	0	34	0	77
R	Gravillera	5.3	0.0	0.0	1.1	4.0	0.0	0.0	66	0	0	14	49	0	0
SU	Gualí	0.5	1.3	13.4	0.3	0.7	0.1	4.1	70	179	1894	41	95	20	579
R	Guaymaral	0.0	0.3	3.2	1.3	1.0	0.0	1.6	0	6	64	26	19	0	32
R	Herrera	0.8	0.3	1.2	0.1	11.6	0.0	1.9	200	86	320	31	2002	0	490
SU	Jaboque	0.6	0.6	4.3	0.1	0.3	0.0	5.5	70	62	470	15	56	0	597
U	J. Amarillo	0.0	0.5	0.9	0.0	2.5	0.04	1.1	0	60	103	0	300	5	138
R	Laguna	17.4	0.0	3.7	3.7	10.7	0.0	1.5	47	0	10	10	29	0	4
R	Laureles	1.4	0.0	4.2	5.0	9.1	0.0	0.4	17	0	49	57	105	0	5
R	Meridor	6.5	0.0	3.4	1.4	7.9	0.0	0.8	49	0	26	10	60	0	6
SU	Neuta	0.3	0.4	7.0	0.2	5.9	0.0	3.8	5	8	130	4	110	0	70
R	Salitre	0.8	0.0	1.4	5.3	12.6	0.0	0.0	5	0	5	19	45	0	0
U	S. María	0.2	0.0	0.2	0.0	12.7	0.0	1.5	1	0	1	0	69	0	8
SU	Tibanica	0.0	2.0	4.0	0.3	0.0	0.3	8.3	0	38	75	5	0	5	157
R	Tibitoc	5.2	0.6	0.7	0.3	6.9	0.0	1.0	254	28	36	15	338	0	48
R	Torca	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	1.6	0	2	2	0	0	0	19

¹Landscape predominance is given according to percentage of manmade constructions (more details in Rosselli, 2011). U: urban, SU: semiurban, R: rural

F. americana and *G. galeata* had the highest abundances with nearly 2000 individuals in some large wetlands. Least abundant was *C. apolinari* with 5 or fewer individuals in three of the four wetlands in which it was found, and *G. melanops* in which 74% of the wetlands had 20 or less individuals (Table 4-3). According to the RDA only **F1** was significant in explaining absolute bird species abundances; all were positively related to that factor, although the relationship was weak for *G. melanops*. **F6** and **F4** were correlated and negatively related to the associated group of **F2**, **F3** and **F5** (Figure 4-1 b).

Figure 4-1: Biplot of the first two axes of a redundancy analysis (rda) regressing density data (a) and abundance (b) of 7 species of birds (solid arrows) on principal components obtained from environmental data (dashed arrows) measured for 19 wetlands in the Sabana de Bogotá, Colombia. See abbreviations of species and factor loadings in Table 4-2 and Table 3-5.



Examining the multiple regression models for each of the 7 focal species, we found that **F2** was the main determinant (negatively) of *O. jamaicensis* and *G. melanops* density. The second factor for *O. jamaicensis* was **F6** and for *G. melanops* **F4** (Table 4-4). The most important determinant of *R. semiplumbeus* density was **F1** and for *G. galeata*, **F5** (Table 4-4). The regression models were not significant for the densities of *F. americana*, *C. apolinari* and *C. icterocephalus*. The factors most highly and positively related to densities of the first two species were **F4** and **F1**. **F6** had the highest and negative association with *C. icterocephalus*.

Although significant in all species abundance models, **F1** was the main variable only for *R. semiplumbeus*, *G. galeata*, *C. apolinari* and *C. icterocephalus* (Table 4-4). **F2** was the

most important factor (negatively) for abundances of *O. jamaicensis* and *G. melanops* and F6 for *F. americana*.

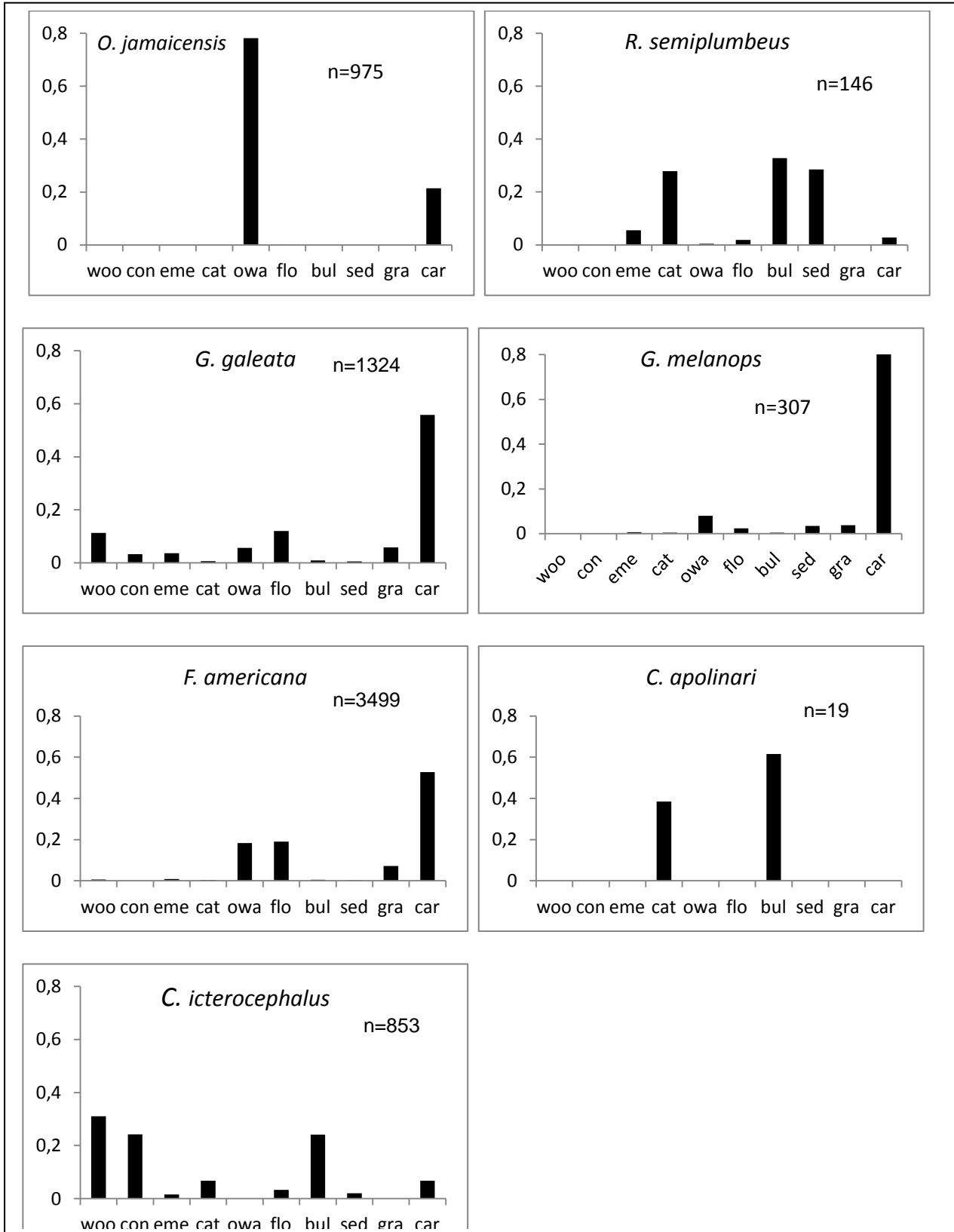
We accumulated 7123 records of the seven species of birds using wetland habitats excluding mudflats. Most of the records belong to *F. americana* (3499) while *C. apolinari* contributed the fewest observations (19) (Figure 4-2). Considering the abundance of habitats in the 19 wetlands combined, floating carpet was the most preferred habitat by *G. galeata*, *G. melanops* and *F. americana* where they were often seen feeding; *O. jamaicensis* had a very high standardized preference value for open water (0.78), and bulrushes were preferred by *R. semiplumbeus* and *C. apolinari*, where they remained most of the time performing different activities (feeding, singing); these species also showed a lesser preference for cattails (Figure 4-2). *C. icterocephalus* had the highest preference indexes for woody vegetation, constructions and bulrushes where they sang, displayed and fed. Woody vegetation, constructions and grass were the least used habitats. The use of emergent vegetation was mostly low considering the amount of this habitat in the wetlands as well as that of cattails and sedges except for the species mentioned above (Figure 4-2). Use of mudflats, mostly for resting, was limited, ranging from 0% of all records for *R. semiplumbeus* and *C. apolinari* to only 3.2% for *F. americana*.

Table 4-4: Habitat models using Stepwise Linear Regression analyses for density and abundance of 7 bird species in 19 wetlands of the Sabana de Bogotá. Habitat variables entered regressions at p <0.05.

Species	Density			Abundance		
	Regression Model	R square	Model Significance	Regression Model	R square	Model Significance
<i>Oxyura jamaicensis</i>	$\frac{1}{density} = 0.26 * factor\ 2 - 0.11*factor\ 6 + 0.58$	0.65	0.000	$\sqrt{abundance} = -2.62 * factor\ 2 + 1.98 * factor\ 1 + 1.91 * factor\ 6 + 5.17$	0.59	0.003
<i>Rallus semiplumbeus</i>	$\sqrt{density} = 0.32 * factor\ 1 + 0.54$	0.43	0.002	$\sqrt{abundance} = 3.57 * factor\ 1 + 3.66$	0.83	0.000
<i>Gallinula galeata</i>	$\sqrt{density} = 0.57 * factor\ 5 + 1.71$	0.29	0.019	$\log(abundance) = 0.64 * factor\ 1 + 0.35 * factor\ 5 + 1.63$	0.72	0.000

	Density			Abundance		
<i>Gallinula melanops</i>	$\sqrt{\text{density}} = -0.51 * \text{factor 2}$ + 0.33 * <i>factor 4</i> + 0.83	0.86	0.000	$\sqrt{\text{abundance}} = -1.49$ * <i>factor 2</i> + 0.92 * <i>factor 4</i> + 0.72 * <i>factor 1</i> + 3.34	0.73	0.000
<i>Fulica americana</i>		0.45	0.224	$\log(\text{abundance}) = 0.41 * \text{factor}$ 6 + 0.31 * <i>factor 1</i> + 1,73	0.45	0.009
<i>Cistothorus apolinari</i>		0.25	0.669	$\log(\text{abundance}) = 0.18 * \text{factor}$ 1 + 0.18	0.22	0.044
<i>Chrysomus icterocephalus</i>		0.55	0.092	$\log(\text{abundance}) = 0.72 * \text{factor}$ 1 + 0.27 * <i>factor 2</i> + 1.51	0.80	0.000

Figure 4-2: Standardized Habitat Selection Index (y axis) for 7 species of wetland birds according to number of records of each species in each type of habitat and the total area of each habitat in 19 Sabana de Bogotá Wetlands. (Habitats. woo: woody vegetation, con: constructions, eme: emergent vegetation, cat: cattails, owa: open water, flo: floating vegetation, bul: bulrushes, sed: sedge clumps, gra: grassland, car: floating carpet).



4.5 Discussion

The wetlands of the Sabana de Bogotá are mostly small (<40 ha) although many are in close proximity as they share the same small watersheds. Most, especially the urban ones, had much greater areas in the recent past, although some rural wetlands are of recent creation (Rosselli, 2011). All share low levels of dissolved oxygen and some are strongly acidic (Quiroga, 2010; Rosselli, 2011). As elsewhere, densities and abundances of the focal species were related to different combinations of vegetation types (Linz et al. 1997, Mancini and Rusch 1988) or open water (Brisbin et al., 2002; Brua, 2002). Significant predictive factors for densities were different for each species, reflecting their specific habitat requirements. Although the combination of environmental factors was different for the abundance models for each species, wetland area was present in all equations, showing that in general, larger wetlands support larger populations. Area frequently has been found to be a significant factor in the presence or abundance of wetland birds (Benoit and Askins, 2002; Brown and Dinsmore, 1986; DeLuca et al., 2004; González-Gajardo et al., 2009) although the relation is not always positive, since some species occur at higher densities in smaller wetlands (Fairbairn and Dinsmore, 2001a, Leschisin et al., 1992). This might be the case for *G. melanops*, for which the area-density relationship was weakest; moreover, Rodríguez-Grisales (2007) found this species in various rural wetlands smaller than those we studied, often in the absence of other focal species.

The species most associated with open water (*O. jamaicensis* and *G. melanops*, both endangered) are also dependent on low values of urbanization in the surrounding matrices. Increasing urbanization could explain the rapid decrease of *G. melanops* in the last 20 years (Cadena, 2002) and the low number of ducks in Juan Amarillo, a large city wetland where a restoration project in 2001-2002 created a 27ha lake. In North America, *O. jamaicensis* is also considered “extremely aquatic” and its relation to rural wetlands in the Sabana could be associated with a main food source, chironomid larvae (Brua, 2002) and the lower levels of eutrophication outside of the city (Quiroga, 2010). This could also explain the arrival of *O. jamaicensis* to one city wetland (pers. obs.) following measures to improve water quality taken after we concluded our observations. Harassment by coots, present in most city wetlands, could also reduce the presence of *O. jamaicensis* city wetlands with high density of *F. americana* (Brua, 2002). Unlike the close association

found between *G. melanops* and floating carpet area, Guadagnin and Maltchik (2007) found its presence more linked to microhabitat richness in Brazil.

Although associated with open water as are *O. jamaicensis* and *G. melanops*, *F. americana* also occurred more regularly in urban wetlands, where the high density of cattails, bulrushes, floating and emergent vegetation along the shorelines provided ideal nesting habitat (Brisbin et al., 2002; Sugden, 1979; Villamagna et al., 2010). However, coots were also found breeding in two rural wetlands without significant areas of emergent vegetation. Some of the coot densities found in this study were higher than values of <1 to 3.6 ind/ha reported for North America (Brisbin et al., 2002).

The most endangered species in the study (*R. semiplumbeus* and *C. apolinari*) had low densities and numbers, were present in fewer wetlands and depended on wetland area and bulrush, their preferred habitat. The higher diversity of vegetation in many urban and semiurban wetlands probably favored their presence there. Rushes, sedges and cattails in North America were also associated with presence of *R. elegans* (Poole et al., 2005) and *R. limicola* (Conway, 1995; Mancini and Rusch, 1988); for the latter, similar in size and aspect to *R. semiplumbeus*, wetland size might also be important. The population densities we found for the Bogotá Rail are comparable to lower values of those reported for *R. limicola* (Conway, 1995; Mancini and Rusch, 1988).

The situation of *C. apolinari* in the Sabana de Bogotá is critical; although its preferred habitat of bulrush is undoubtedly less extensive than in the past, much of it is currently unoccupied and wren numbers have declined precipitously in recent years despite efforts to improve habitat in some urban wetlands. For example, Tibanica wetland supported ca. 18 wrens as late as 2000 (Morales and De La Zerda, 2004) but the population had declined to 5 by 2009 and only 2 in 2010 (pers. obs.) while the habitat remained intact. We strongly suspect that brood parasitism by Shiny Cowbirds (*Molothrus bonariensis*) is the cause. First reported by Velásquez-Tibatá et al. (2000), parasitism by the growing populations of cowbirds has been recorded by several observers since then and the only nest of *C. apolinari* examined recently held more cowbird eggs than wren eggs (H. Benítez, pers. com.). Territories of this species are small and the birds show high site fidelity and low capacity for displacement as they have not been encountered in manmade wetlands, as have *R. semiplumbeus* or *C. icterocephalus* (pers. obs., Morales and De La Zerda, 2004). Analogously, in Iowa van Rees-Siewert and Dinsmore (1996) found the similar *C. palustris* mostly in older wetlands, indicating low movement to new habitats.

Density of *C. apolinari* is very low compared to *C. palustris* in North America (0.9 birds/ha to 60 territories/ha), which is also associated with cattails and bulrush (Kroodsma and Verner, 1997; Mancini and Rusch, 1988). We believe that an urgent specific action plan is needed for the conservation of the *C. apolinari* including parasite and predator control, population followups and an exhaustive search for remaining populations in appropriate habitat in the region.

C. icterocephalus was most numerous in large, mostly semiurban wetlands with large areas of bulrushes, which were used for perching, feeding and nesting (Naranjo, 1995), as does the related *Agelaius phoeniceus* (Linz et al., 1997; Murkin et al., 1997). *C. icterocephalus* are also highly mobile and can find small patches of appropriate habitat as we have seen them arriving at newly formed wetlands in heavy rainy seasons in parts of Bogotá (pers. obs.) and they are among the few waterbirds present in the narrow wetland remaining in the middle of a major highway in the north of the city (Osbaahr and Hernández, 2006). vanRees-Siewert and Dinsmore (1996) found *A. phoeniceus* nesting in wetlands of different ages and Weller (1986) considered this related species to be well adapted to small units. *C. icterocephalus* is probably the primary host of *M. bonariensis* in the Sabana (Naranjo, 1995) but unlike *C. apolinari*, its population has remained stable for at least 20 years (Christmas counts by the Bogotá Ornithological Association). This species can aggressively displace *M. bonariensis* (Villaneda, 2010; Rosselli, 2011), which the smaller wren probably cannot do. Preference for bulrushes for nesting by both species may have favored the apparently recent parasitism of the wren by the cowbirds. At current wren densities, a single cowbird female could parasitize most or all nests.

The association of *G. galeata* with complex wetland perimeters and urbanized surroundings explains its presence in most wetlands included in this study and others in the city (PUJ-EAAB, 2006a) and confirms this as one of the species most likely to survive in the city in the long term. Complex wetland shape has been found to favor gallinules, ducks, coots and other species; and more irregular shorelines may offer more refuges, and more emergent vegetation (González-Gajardo et al. 2009; Kaminski and Prince, 1984). The association of *G. galeata* with emergent and floating vegetation and its frequent use of terrestrial grass along the shores has probably permitted its persistence. Similar habitat use by *G. galeata* and the related *Gallinula chloropus* has been found in other latitudes (Bannor and Kiviat, 2002; Ritter and Savidge, 1999). The densities reported here are similar to those found in North America and Hawaii (Bannor and Kiviat, 2002). In Brazil,

Guadagnin and Maltchik (2007) found that presence of *G. galeata* and *Fulica leucoptera* was most related to wetland area.

In the past, sizeable areas of all the habitats were probably present in all of the (much larger) wetlands of the Sabana, as they mostly are in the two largest remaining wetlands of the altiplano (Laguna de Fúquene and Lago de Tota). At present, this is not the case in the Sabana de Bogotá, the main difference being between rural (mostly open water) and urban (mostly covered by diverse vegetation types) wetlands (Rosselli, 2011). Thus, the wetlands of the Sabana are largely complementary in terms of the habitats offered and the avifaunas they support. This is a case where an assemblage of varied wetlands may act as a single larger and more diverse one (see Weller, 1986). Perhaps among these habitats the most threatened one is open water, especially in the urban wetlands; due to high eutrophication, 93% of the area's wetlands have excessive growth of aquatic vegetation (Chaparro, 2003) which is characteristic of urban wetlands elsewhere (Kentula et al. 2004; Riffel et al. 2003, Seigel et al. 2005).

It is therefore worrisome that only urban wetlands have received attention and management programs since as this study shows, landscape characteristics are important for some birds and city wetlands are subject to many tensions including changes in hydrology and altered water quality (Grayson et al., 1999; Horner, 2001). The efforts of the two municipal environmental agencies (Secretaría Distrital de Ambiente and the Empresa de Acueducto) to manage and improve habitats in urban wetlands are probably positive for species such as *R. semiplumbeus*, *G. galeata*, *F. americana* and *C. icterocephalus*, providing that appropriate habitats are present. However, urbanization around some suburban wetlands continues apace (Kentula et al. 2004), and new laws favoring urbanization may soon affect some of the rural wetlands as well, including the largest wetland we studied, La Herrera. Unfortunately, little effective action towards management and habitat enhancement of rural wetlands has been taken by regional authorities like the CAR. *O. jamaicensis* and *G. melanops* require a serious and effective plan for the conservation of rural wetlands including the small bodies of open water found in private farms that act as a complementary habitat to the highly vegetated, larger wetlands (Froneman et al., 2001; Gibbs, 1993; Naugle, 2001; Rodríguez-Grisales, 2007). We agree with Euliss et al. (2008) that management of wetlands should seek the restoration or simulation of ecosystem processes to obtain long term sustainability considering the complex influences of the landscape and watershed, and strongly advocate that a regional rather than local approach be adopted for conservation of the still

rich avifauna of the Sabana de Bogotá. However, the critical situation of *C. apolinari* in particular requires immediate specific actions for the recovery and maintenance of its population. By identifying the most important parameters that influence populations of the focal species, this study provides new guidelines for conservation of the endangered wetland birds of the Bogotá region in urban and periurban landscapes (Pearce et al., 2007).

4.6 Acknowledgements

S. De La Zerda, G. Galindo, G. Guillot, O. L. Montenegro, L. M. Renjifo, O. Rangel and the group of doctoral students of the Biodiversity and Conservation emphasis of the Universidad Nacional contributed to the structure of this project. We thank the support and collaboration of the Empresa de Acueducto de Bogotá and owners, administrators and neighbors of the Bogotá wetlands for their help, company and warm welcome. L. Agudelo, P. Camargo, A. Morales and N. Moreno from Asociación Bogotana de Ornitología helped with bird observations. S. De La Zerda, S. Morales and M. Villaneda were valuable company in the field. We thank M.I. Castro, J. Donato and A. Ramírez for their continuous support and help with the statistical analysis. GIS help and instruction by F. Remolina, L.G. Castro and A. Sarmiento were crucial. This research was funded partially by the Vicerrectoría de Investigación Sede Bogotá of the Universidad Nacional de Colombia, Asociación Bogotana de Ornitología and BirdLife International. Idea Wild donated part of the equipment used.

4.7 References

- Andrade, G., 1998. Los humedales del altiplano de Cundinamarca y Boyacá. Ecosistemas en peligro de desaparecer, in: Guerrero, E. (Ed.), *Una aproximación a los humedales de Colombia*. Fondo FEN, Bogotá, pp. 59-72.
- Bannor, B.K., Kiviat, E., 2002. Common Moorhen (*Gallinula chloropus*), in: Poole, A. (Ed.), *The Birds of North America Online*. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu.bnaproxy.birds.cornell.edu/bna/species/685> doi:10.2173/bna.685 accessed March 29 2011.
- Benoit, L.K., Askins, R.A., 2002. Relationship between habitat area and the distribution of tidal marsh birds. *Wilson Bul.* 114, 314-323.

- Bibby, C.J., Hill, D.A., Burgess, N.D., Mustoe, S., 2000. Bird census techniques, second ed. Academic Press, London.
- Brisbin, Jr., Lehr, I., Mowbray, T.B., 2002. American Coot (*Fulica americana*), in: Poole, A. (Ed.), The Birds of North America Online. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu.bnaproxy.birds.cornell.edu/bna/species/697a> doi:10.2173/bna.697a, March 29 2011.
- Brown M., Dinsmore J.J., 1986. Implications of marsh size and isolation for marsh bird management. J. Wildlife Manage. 50, 392–397.
- Brua, R.B., 2002. Ruddy Duck (*Oxyura jamaicensis*), in: Poole, A. (Ed.), The Birds of North America Online. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu.bnaproxy.birds.cornell.edu/bna/species/696> doi:10.2173/bna.696, March 28 2011.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., 1993. Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Chapman and Hall, London, reprinted 1999 by RUWPA, University of St. Andrews, Scotland.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L., Thomas, L., 2004. Advanced distance sampling. Oxford University Press, Great Britain.
- Cadena, C.D., 2002. *Gallinula melanops*, in: Renjifo, L.M., Franco-Maya, A.M., Amaya-Espinel, J.D., Kattan, G., López-Lanús, B. (Eds.), Libro rojo de aves de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia, pp. 173-177.
- Calderón-Reyes, L.M., 2008. Cuantificación de la presencia de perros domésticos (*Canis familiaris*) en humedales rurales y urbanos de la Sabana de Bogotá, Colombia. Tesis de Pregrado. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes, Bogotá.
- Calvachi, B., 2003. La fauna de los humedales de Bogotá y la Sabana, in: Guarnizo, A., Calvachi, B. (Coord.), *Los humedales de Bogotá y la Sabana*, Vol. 1. Acueducto de Bogotá, Conservación Internacional Colombia, Bogotá, pp. 109-140.
- Castiblanco, C. (Director), 2005. Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital Humedal Tibanica. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Bogotá.

- Castiblanco, C. (Director), 2007. Plan de Manejo Ambiental Participativo Humedal Córdoba. Proyecto “Formulación y/o Actualización Participativa de los Planes de Manejo Ambiental de los Humedales Torca-Guaymaral, Córdoba y El Burro”. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Universidad Nacional Fe Colombia, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Bogotá.
- Chaparro, B., 2003. Reseña de la vegetación en los humedales de la Sabana de Bogotá, in: Guarnizo, A., Calvachi, B. (Coord.). Los humedales de Bogotá y la Sabana. Vol. 1. Acueducto de Bogotá, Conservación Internacional Colombia, Bogotá, pp. 71-89.
- Conway, C.J., 1995, Virginia Rail (*Rallus limicola*), in: Poole, A. (Ed.), The Birds of North America Online. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu.bnaproxy.birds.cornell.edu/bna/species/173> doi:10.2173/bna.173, March 28, 2011.
- Craig, R.J., Beal, K.G., 1992. The influence of habitat variables on marsh bird communities of the Connecticut River estuary. *Wilson Bul.* 104, 295-311.
- DeLuca, W.V., Studds, C.E., Rockwood, L.L., Marra, P.P., 2004. Influence of land use on the integrity of marsh bird communities of Chesapeake bay, USA. *Wetlands* 24, 837-847.
- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), 2006. Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá.
- Euliss, N.H. Jr., Smith, L.M., Wilcox, D.A., Browne, B.A., 2008. Linking ecosystem processes with wetland management goals: charting a course for a sustainable future. *Wetlands* 28, 553–562
- Fairbairn, S.E., Dinsmore, J.J., 2001a. Local and landscape level influences on wetland bird communities of the prairie pothole region of Iowa, USA. *Wetlands* 21, 41-47.
- Fairbairn, S.E., and J.J. Dinsmore. 2001b. Factors associated with occurrence and density of wetland birds in the prairie pothole region of Iowa. *Jour. Acad. Sci.* 108:8-14.
- Fjeldsa, J., 1985. Origin, evolution, and status of the avifauna of Andean wetlands, in: Buckley, P.A., Foster, M.S., Morton, E.S., Ridgely, R.S., Buckley, F.G. (Eds.), *Neotropical Ornithology. Ornithological Monographs* 36. AOU, Washington, pp. 85-112.
- Froneman, A., Mangnall, M.J., Little, R.M., Crowe, T.M., 2001. Waterbird assemblages and associated habitat characteristics of farm ponds in the Western Cape, South Africa. *Biodiversity and Conservation* 10, 251-270

- Gibbs, J.P., 1993. Importance of small wetlands for the persistence of local populations of wetland-associated animals. *Wetlands* 13, 25-31.
- González-Gajardo, A., Victoriano, P., Schlatter, R., 2009. Waterbird assemblages and habitat characteristics in wetlands: Influence of temporal variability on species-habitat relationships. *Waterbirds* 32, 225-233.
- Grayson, J.E., Chapman, M.G., Underwood, A.J., 1999. The assessment of restoration of habitat in urban wetlands. *Landscape and Urban Planning* 43, 227-236.
- Guadagnin, D.L., Maltchik, I., 2007. Habitat and landscape factors associated with neotropical waterbird occurrence and richness in wetland fragments. *Biodivers. Conserv.* 16, 1231-1244.
- Guhl, E., 1981. La Sabana de Bogotá, sus alrededores y su vegetación. Jardín Botánico José Celestino Mutis – Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.
- Horner, R.R., 2001. Overview of the Puget Sound wetlands and stormwater management research program, in: Azous, A.L., Horner, R.R. (Eds.), *Wetlands and Urbanization. Implications for the future*. CRC Press, Florida, pp.3-28.
- Hoyer, M.V., Canfield, D.E., 1994. Bird abundance and species richness on Florida Lakes: influence of trophic status, lake morphology, and aquatic macrophytes. *Hydrobiologia* 297, 107-119.
- Kaminski, R.M., Prince, H.H., 1984. Dabbling-duck habitat associations during spring in Delta Marsh, Manitoba. *Journal of Wildlife Management* 10, 37-50.
- Kentula, M.E., Gwin, S.E., Pierson, S.M., 2004. Tracking changes in wetlands with urbanization: sixteen years of experience in Portland, Oregon, USA. *Wetlands* 24, 734-743.
- Krebs, C.J., 1999. *Ecological Methodology*, second ed. Addison Wesley Longman, Inc., California.
- Kroodsma, D.E. Verner, J., 1997. Marsh Wren (*Cistothorus palustris*), in: Poole, A. (Ed.), *The Birds of North America Online*. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu.bnaproxy.birds.cornell.edu/bna/species/308>
doi:10.2173/bna.308
- Legendre, P., Legendre, L., 1998. *Numerical ecology. Developments in environmental modelling* 20. Elsevier B.V., Amsterdam.
- Leps J., Smilauer P., 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U.K.

- Leschisin, D.A., Williams, G.L., Weller, M.W., 1992. Factors affecting waterfowl use of constructed wetlands in northwestern Minnesota. *Wetlands* 12, 178-183.
- Linz, G.M., Bergman, D.L., Blixt, D.C., McMurl, C., 1997. Response of American Coots and Soras to herbicide-induced vegetation changes in wetlands. *J. Field Ornith.* 68, 450-457.
- Longcore, J.R., McAuley, D.G., Pendelton, G.W., Bennatti, G.W., Mingo, T.M., Stromborg, K.L., 2006. Macroinvertebrate abundance, water chemistry, and wetland characteristics affect use of wetlands by avian species in Maine. *Hydrobiologia* 567, 143-167.
- Macana, D.C., 2007. Composición, estado y perspectivas de conservación de la avifauna acuática del lago de Tota, Boyacá, Colombia. Tesis de Grado. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Magurran, A.E., 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey.
- Manci, K.M., Rusch, D.H., 1988. Indices to distribution and abundance of some inconspicuous waterbirds on Horicon marsh. *J. Field Ornithol.* 59, 67-75.
- Manly, B.F.J., McDonald, L.L., Thomas, D.L., McDonald, T.L., Erickson, W.P., 2004. *Resource Selection by Animals. Statistical Design and Analysis for Field Studies* Kluwer Academic Publishers, New York.
- Morales-Rozo, A., De La Zerda, s., 2004. Caracterización y uso de hábitat del cucarachero de pantano *Cistothorus apolinari* (Troglodytidae) en humedales de la cordillera oriental de Colombia. *Ornitología Colombiana* 2, 4-18.
- Murkin, H.R., Murkin, E.J., Ball, J.P., 1997. Avian Habitat Selection and Prairie Wetland Dynamics: A 10-Year Experiment. *Ecological Applications* 7, 1144-1159.
- Naranjo, L.G., 1995. Patrones de reproducción en dos poblaciones aisladas de *Agelaius icterocephalus* (Aves:Icteridae). *Caldasia* 18, 89-100.
- Naugle, D.E., Johnson, R.R., Estey, M.E., and Higgins, K.F., 2001. A landscape approach to conserving wetland bird habitat In the prairie pothole region of eastern South Dakota. *Wetlands* 21, 1-17.
- Osbaahr, K. Gómez, N.C., 2006. Uso de hábitat de la avifauna en el humedal Guaymaral (Cundinamarca, Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad and Divulgación Científica* 9, 157-168.
- Osbaahr, K., Hernandez, M., 2006. Caracterización de un fragmento del humedal Torca-Guaymaral. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica* 9, 117-129.

- Patton, D.R., 1975. A Diversity Index for Quantifying Habitat "Edge". Wildlife Society Bulletin 3, 171-173.
- Pearce, C.M., Green, M.B., Baldwin M.R., 2007 Developing habitat models for waterbirds in urban wetlands: a log-linear approach. Urban Ecosyst 10, 239-254.
- Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) – Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), 2006a. Plan de Manejo Ambiental del Humedal de Techo. Formulación y/o actualización de los planes de manejo ambiental de los humedales de Techo y La Vaca. Informe final, Bogotá.
- Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) – Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), 2006b. Plan de manejo ambiental humedal de Jaboque. Convenio No. 9-07-24100-086-2006 Instituto de Estudios Ambientales – IDEADE. Facultad de Ciencias, Facultad de Ingeniería. Informe final, Bogotá.
- Poole, A.F., Bevier, L.F., Marantz, C.A., Meanley, B., 2005. King Rail (*Rallus elegans*), in: Poole, A. (Ed.), The Birds of North America Online. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu.bnaproxy.birds.cornell.edu/bna/species/003> doi:10.2173/bna.3, March 25, 2011.
- Quiroga, V., 2010. Algunos aspectos de la calidad del agua de los humedales de la Sabana de Bogotá y su relación con la diversidad de aves acuáticas. Tesis de Pregrado. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá.
- Ralph, C.J., Geupel, G.R., Pyle, P., Martin, T.E., DeSante, D.F., 1993. Handbook of field methods for monitoring landbirds Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-144.
- Renjifo, L.M., Franco-Maya, A.M., Amaya-Espinel, J.D., Kattan, G.H., López-Lanús, B., (eds.), 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Naturales Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.
- Riffell, S.K., Keas, B.E., Burton, T.M., 2003. Birds in North American Great Lakes coastal wet meadows: is landscape context important? Landscape Ecology 18, 95–111.
- Ritter, M.W., Savidge, J.A., 1999. A predictive model of wetland habitat use on Guam by endangered Mariana Common Moorhens. Condor 101, 282-287.
- Rodríguez-Grisales, A.F., 2007. Estudio de las poblaciones de la tingua moteada (*Gallinula melanops bogotensis*) en algunas lagunas y cuerpos de agua en fincas

- privadas en los municipios de Guasca y La Calera, Cundinamarca, Colombia. Tesis de grado, Depto. de Biología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Rodríguez-Mahecha, J.V., (ed), 2000. Síntesis del estado actual de los humedales de Bogotá. Recuperación de los humedales de la Sabana de Bogota. Alternativa hacia su viabilidad ecológica y social. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y Conservación Internacional Colombia (CI). Bogotá.
- Rosselli, L., 2011. Factores ambientales relacionados con la presencia y abundancia de algunas especies de aves de los humedales de la Sabana de Bogotá. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Seigel, A., Hatfield, C., Hartman, J.M., 2005. Avian response to restoration of urban tidal marshes in the Hackensack meadowlands, New Jersey. *Urban Habitats* 3:1541-7115.
- Shriver, W.G, Hodgman, T.P., Gibbs, J.P., Vickery, P.D., 2004. Landscape context influences salt marsh bird diversity and area requirements in New England. *Biological Conservation* 119, 545-553.
- SPSS Inc., 2007. SPSS Base 16.0 for Windows User's Guide. SPSS Inc., Chicago IL.
- Sugden, L.G., 1979. Habitat use by nesting American Coots in Saskatchewan parklands. *Wilson Bulletin* 91, 599-607.
- Tabachnick B.G., Fidell L.S., 2007. Using multivariate statistics. 5th edition. Pearson Education Inc. Boston.
- Ter Braak, C.J., 1988. Canoco: A Fortran program for canonical community ordination. Microcomputer Power, Ithaca, New York.
- Thomas, L., Buckland, S.T., Rexstad, E.A., Laake, J.L., Strindberg, S., Hedley, S.L., Bishop, J.R.B., Marques, T.A., Burnham, K.P., 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47, 5-14. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x
- van der Hammen, T., 2003. Los humedales de la Sabana: origen, evolución, degradación y restauración, in: Guarnizo, A., Calvachi, B. (Coord.), Los humedales de Bogotá y la Sabana, Vol. 1. Acueducto de Bogotá, Conservación Internacional Colombia. Bogotá, pp. 19-51.
- van der Hammen, T., Stiles, F.G., Rosselli, L., Chisacá, M.L., Camargo, G., Guillot, G., Useche, Y., Rivera, D., 2008. Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Secretaría Distrital de Ambiente –SDA, Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá.

- Van Rees-Siewert, K.L., Dinsmore, J.L., 1996. Influence of wetland age on bird use of restored wetlands in Iowa. *Wetlands* 16, 577-582.
- Velásquez-Tibatá, J.I., Gutiérrez, A., Carillo, E. 2000. Primer registro de parasitismo reproductivo en el Cucarachero de Pantano *Cistothorus apolinari* por el Chamón Maicero *Molothrus bonariensis*. *Cotinga* 14, 102-103.
- Villamagna, A.M., Murphy, B.R. Trauger, D.L., 2010. Behavioral response of American Coots (*Fulica americana*) to Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Lake Chapala, Mexico. *Waterbirds*. 33, 550-555.
- Villaneda, M., 2010. Abundancia del chamón *Molothrus bonariensis* (Icteridae) en 19 humedales de la Sabana de Bogotá (Colombia). Tesis de Pregrado. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá.
- Weller, M.W., 1986. Marshes, in: Cooperrider, A.Y., Boyd, R.J., Stuart, H.R., (eds.) ,1986. Inventory and monitoring of wildlife habitat. U.S.D.I. Bureau of Land Management, Denver, CO., pp. 201-224.
- Weller, M.W., 1999. Wetland Birds. Habitat Resources and Conservation Implications. Cambridge Univ. Pres. Cambridge, UK.
- Zerda, E., Del Valle-Useche, C.M., Hernández, V., Rueda, L.E., 2005. Uso de hábitat de la avifauna del humedal Jaboque, in: Rangel-Ch., J.O., (director), Parra, L.N., (scientific coord.), 2005. Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque. Convenio de cooperación científica y técnica entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Universidad Nacional de Colombia, Informe Final, pp. 476-511.