

Riqueza florística y estructura de la vegetación acuática y terrestre en el humedal El Salitre, Bogotá, Colombia

Diego Mauricio Cabrera Amaya*, José Wilfredo López Cruz

Jardín Botánico de Bogotá "José Celestino Mutis", Bogotá, D.C., Colombia

Resumen

El humedal El Salitre es el último humedal urbano de referencia para Bogotá debido a las buenas condiciones tróficas de sus aguas, pero poco se sabe de las condiciones de su vegetación. Se delimitó un área siguiendo los lineamientos de la política de humedales del Distrito Capital para analizar la composición florística y la estructura de la vegetación terrestre y acuática. Se utilizaron 20 parcelas de vegetación en las que se registró la riqueza y el porcentaje de cobertura con el método de punto intercepto. También se utilizó la información del arbolado urbano de Bogotá. Se encontraron 144 especies distribuidas en 109 géneros y 60 familias. Las familias más ricas en especies de vegetación terrestre fueron Fabaceae, Asteraceae, Rosaceae, Malvaceae y Myrtaceae, en tanto que las de vegetación acuática fueron Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Rosaceae y Cyperaceae. El humedal El Salitre presenta poca riqueza en comparación con otros humedales de la Sabana de Bogotá debido, probablemente, a su pequeña área, pero cuenta con la composición típica de formas de vida y las comunidades acuáticas más características de los humedales, como praderas gramínoideas o enraizadas emergentes y arbustales inundables. Se confirmó el humedal El Salitre como referencia para el resto de los humedales de Bogotá también en cuanto a la vegetación acuática que alberga. © 2019. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.

Palabras clave: Arbolado urbano; Clasificación; Esfuerzo de muestreo; Ordenación; Punto intercepto.

Abstract

Floristic richness and structure of aquatic and terrestrial vegetation in El Salitre wetland, Bogotá, Colombia

El Salitre wetland is the last reference wetland for Bogotá given the good trophic conditions of its waters, but little is known about its aquatic and terrestrial vegetation. We defined an area according to the Wetlands Policy of the Capital District to analyze the floristic composition and the structure of the aquatic and terrestrial vegetation. We used 20 vegetation plots where we registered the richness and the cover percentage using the point intercept method. We also used the information regarding urban forests of Bogotá. We found 144 species distributed in 109 genera and 60 families. The richest families in terrestrial vegetation species were Fabaceae, Asteraceae, Rosaceae, Malvaceae, and Myrtaceae, while the richest ones in aquatic vegetation were Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Rosaceae, and Cyperaceae. El Salitre wetland has a low richness compared with other wetlands in the Bogotá savanna, maybe due to its small area, but it has the typical composition of life forms and most characteristic aquatic communities of wetlands such as graminoid meadows or rooted emergent meadows and flooding shrublands. We confirmed El Salitre wetland as reference for the rest of Bogotá wetlands, but now also because of the aquatic vegetation there present. © 2019. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.

Key words: Classification; Ordination; Sampling effort; Point intercept; Urban forest.

Introducción

El humedal El Salitre hace parte del sistema de 15 humedales urbanos de Bogotá, y aunque es uno de los más pequeños, también constituye un referente de la calidad de agua para el resto de los humedales de la capital (Pulido-López & Pinilla-Agudelo, 2017). Actualmente quedan 15 humedales urbanos reconocidos, los cuales son importantes para la ciudad porque cumplen importantes funciones como la conservación de la biodiversidad, el control de inundaciones y la erosión, la retención de nutrientes y la recarga de acuíferos de la sabana, además de constituir zonas de

recreación y educación ambiental (Van der Hammen, *et al.*, 2008). En el 2010 estos humedales ocupaban un área que apenas representaba el 1,35 % de la extensión ocupada por lagos y humedales a principios del siglo XX en Bogotá (Escobar, 2016). Los que han sobrevivido hoy se encuentran aislados, han perdido su conectividad ecológica

*Correspondencia:

Diego Mauricio Cabrera Amaya, dmcabreraa@unal.edu.co

Recibido: 3 de enero de 2019

Aceptado: 11 de julio de 2019

Editor: Gabriel Roldán

y presentan problemas de degradación y contaminación ambiental con graves consecuencias para su funcionamiento y su conservación. A diferencia del resto de los humedales, El Salitre no presenta vertimientos de aguas residuales (Pulido-López & Pinilla-Agudelo, 2017).

Existen algunos referentes sobre la vegetación acuática y terrestre en el humedal Jaboque y el parque La Florida, entre los cuales se destacan los estudios de la flora acuática de la Sabana de Bogotá y el valle del río Ubaté (Schmidt-Mumm, 1998), y los trabajos de caracterización, manejo y restauración de la vegetación del humedal Jaboque (Asociación para el Desarrollo Social y Ambiental, ADESSA, & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, 2006; Córdoba, 2016; Hernández-R. & Rangel-Ch., 2009), así como los diversos estudios paleoecológicos e históricos sobre la vegetación de la Sabana de Bogotá durante el Pleistoceno (Cleef & Hooghiemstra, 1984; Van der Hammen, 1986), los cuales pueden proporcionar pistas para entender el tipo de vegetación original de los humedales de la región.

Sin embargo, a pesar de estos y otros trabajos sobre los humedales de la ciudad, todavía no se conocen las características y las dinámicas bióticas de su flora. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue analizar la riqueza florística y la estructura de la vegetación acuática y terrestre del humedal El Salitre. Se plantearon las siguientes preguntas de investigación teniendo en cuenta las características de El Salitre comparadas con las del resto de humedales de la Capital (Pulido-López & Pinilla-Agudelo, 2017): 1) ¿cómo es la riqueza y la composición?; 2) ¿cuáles son las comunidades vegetales más representativas?, y 3) ¿cómo es la estructura de la vegetación? Las hipótesis planteadas sobre estas preguntas fueron: 1) la riqueza será menor que la esperada para los humedales más representativos de la Sabana de Bogotá, compuesta por las especies más frecuentes de estos humedales pero con una alta proporción de especies exóticas, especialmente en el componente acuático; 2) las comunidades serán principalmente representativas del litoral de los humedales dada la poca profundidad del cuerpo de agua, así como de la presencia de potreros de zonas urbanas y periurbanas de la ciudad, y 3) la mayor abundancia de plantas se registrará en especies exóticas, especialmente *Cenchrus clandestinus*, con mayor porcentaje de cobertura en los estratos bajos, principalmente en la vegetación acuática, aunque en la vegetación terrestre los árboles exóticos dominarán en los estratos altos.

Materiales y métodos

Área de estudio. El humedal El Salitre se localiza dentro del Parque Recreación-deportivo El Salitre en la localidad de Barrios Unidos (Bogotá, D.C.) (Concejo de Bogotá, 2011) (Figura 1). Se ubica a 2.600 m s.n.m. en la Sabana de Bogotá, con una temperatura promedio anual de 14,2 °C y una precipitación total anual entre 900 y 1.000 mm (Alcaldía Local de Barrios Unidos, 2014). Es un humedal de origen artificial

(Departamento Administrativo de Medio Ambiente-DAMA, 2002), cubre un área de 6,4 Ha con una zona inundable de 13,2 Ha y una profundidad media menor a 1,5 m (Pulido-López & Pinilla-Agudelo, 2017). En el presente trabajo se propone una nueva delimitación del humedal, ya que el polígono actual solo tiene en cuenta una ronda de 30 m alrededor del cuerpo de agua definida provisionalmente (Concejo de Bogotá, 2011) por la Secretaría de Ambiente (Secretaría de Ambiente-SDA, 2009), delimitación que no contempló los parámetros de la actual definición de humedal de la política de humedales del Distrito Capital (Alcalde Mayor de Bogotá, 2007; DAMA, 2006) y se dejó por fuera la zona de manejo y preservación ambiental:

“Los humedales son ecosistemas de gran valor natural y cultural, constituidos por un cuerpo de agua permanente o estacional de escasa profundidad, una franja a su alrededor que puede cubrirse por inundaciones periódicas (Ronda hidráulica) y una franja de terreno no inundable, llamada Zona de manejo y preservación ambiental. Estas áreas (Ronda hidráulica y Zona de manejo y preservación ambiental) deben tener un tamaño acorde con las características ecosistémicas particulares”.

El nuevo polígono ya se encuentra cercado en una gran proporción y abarca amplias zonas verdes de pastizales arbolados abiertos y densos que pueden tener conectividad ecológica con los complejos deportivos y recreativos El Salitre y Parque Simón Bolívar (Figura 1), especialmente por la baja afluencia de personas y los bajos niveles de ruido allí presentes (Obs. Pers.).

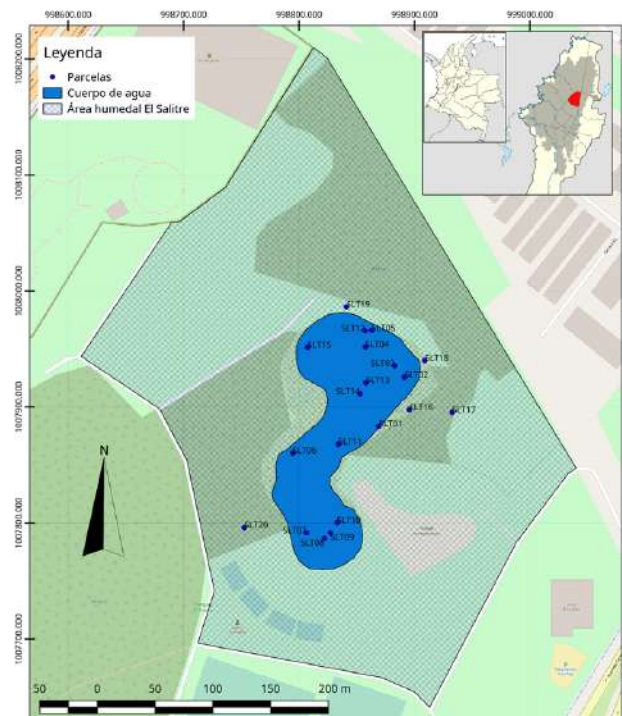


Figura 1. Mapa de la ubicación del humedal El Salitre y los puntos de muestreo. Fuente: © Colaboradores de OpenStreetMap, 2018.

Fase de campo. Se hizo un muestreo entre los meses de abril y mayo de 2017 que incluyó 20 parcelas de vegetación, 11 de ellas de 25 x 1 m (25 m²) para la vegetación acuática, las cuales se ubicaron en bandas concéntricas partiendo de la zona litoral hasta un metro de profundidad de la columna de agua. Para la vegetación leñosa terrestre (zona de manejo y preservación ambiental), se establecieron cinco parcelas de 50 x 2 m (100 m²). En todas las parcelas se estimó el porcentaje de cobertura de las especies mediante el método de punto intercepto (Matteucci & Colma, 1982), registrando el contacto por estrato de las especies en 50 puntos dentro de cada parcela. Los estratos de la vegetación se definieron de la siguiente forma: rasante: 0-0,1 m; herbáceo: 0,1-1 m; arbustivo bajo: 1-1,5 m; arbustivo alto: 1,5-3 m; subarbóreo bajo: 3-5 m; subarbóreo alto: 5-12 m; arbóreo inferior: 12-25 m, y arbóreo superior: >25 m. Se hizo el registro fotográfico de cada especie encontrada y se recolectaron muestras botánicas, las cuales se preservaron para su posterior secado e identificación y se depositaron en la colección del herbario del Jardín Botánico de Bogotá (JBB).

Métodos de análisis. Se elaboró una lista de las especies presentes en el humedal y para complementar la información florística, se incluyó la información del censo del arbolado urbano disponible en el visualizador del Sistema de Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá, SIGAU (2017). Con ayuda del programa EstimateS 9.0 (Colwell, 2013) se construyeron las curvas de extrapolación y rarefacción (Colwell, et al., 2012) y se estimó la riqueza esperada mediante el modelo Chao 2, utilizando los 50 puntos de las parcelas como unidad de muestreo (SIGAU, 2017). La vegetación se clasificó con el programa PAST (Hammer, et al., 2001), utilizando el porcentaje de cobertura por

especie como variable de comparación, el índice de Horn (Horn, 1966) como medida de similitud y el método de agrupamiento UPGMA (*Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages*). Se definieron los grupos con un nivel de similitud del 50 % y se visualizaron mediante un análisis multidimensional no métrico (*non-metric multidimensional scaling*, NMDS), también ejecutado con el PAST y utilizando el índice de Horn. Por último, se hizo el análisis descriptivo del porcentaje de cobertura por estratos para cada comunidad encontrada (Matteucci & Colma, 1982) y la descripción general del arbolado urbano en el polígono delimitado, incluida la altura, el diámetro de copa, el diámetro del tronco y el grupo taxonómico.

Resultados

Riqueza. Se encontraron 144 especies distribuidas en 109 géneros y 60 familias (Tabla 1); la lista completa de especies se presenta en el Anexo S1, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/824/2545>. El grupo taxonómico mejor representado fue el de las magnoliófitas, especialmente las eudicotiledóneas (103 especies), seguido por el de las monocotiledóneas (20 especies) (Tabla 1). Las familias de vegetación terrestre más ricas en especies fueron Fabaceae, Asteraceae, Rosaceae, Malvaceae y Myrtaceae (Tabla S1, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/824/2546>), así como los géneros *Abutilon* y *Acacia*, con más de una especie (Tabla S2, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/824/2547>). En cuanto a la vegetación acuática, las familias con mayor riqueza fueron Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Rosaceae y Cyperaceae (Tabla S1), así como los géneros *Baccharis*, *Cyperus*, *Juncus* y *Polypogon*, con más de una especie (Tabla

Tabla 1. Patrón de distribución de la riqueza según los grandes grupos taxonómicos en el humedal El Salitre

Reino	División	Clase	Familias	Géneros	Especies	
Fungi	Ascomycota	Lecanoromycetes	4	6	9	
	Total Fungi		4	6	9	
	Charophyta	Charophyceae	1	1	1	
	Marchantiophyta	Jungermanniopsida	1	1	1	
	Bryophyta	Bryopsida	2	1	3	
	Monilophyta	Polypodiopsida	2	2	3	
Plantae	Gnetíferas	Clado Gnepinos	1	1	2	
		Clado Cupresófitas	1	1	1	
		Total Gnetíferas	2	2	3	
	Magnoliophyta	Magnoliidae		1	1	1
		Eudicotyledoneae		38	80	103
		Monocotyledoneae		9	15	20
		Total Magnoliophyta		48	96	124
Total Plantae			56	103	135	
Total general			60	109	144	

S2). Más del 80 % de las especies son de tipo terrestre, y cerca del 60 % son exóticas, principalmente en el arbolado del humedal.

Comunidades vegetales. Como producto del análisis de clasificación se encontraron cuatro comunidades con un nivel de similitud del 50 % según el índice de Horn (Figura 2A), de las cuales tres son acuáticas y una es terrestre. A continuación se describe brevemente cada una según la nomenclatura utilizada en los humedales del Distrito Capital (Van der Hammen, *et al.*, 2008).

1. Pradera graminoide inundable: se caracteriza por la presencia de especies enraizadas emergentes de gran porte como *Typha latifolia* y *Juncus effusus*, así como por especies terrestres tolerantes a las inundaciones como *Erechtites valerianifolia* y *Senecio madagasacriensis*. La columna de agua tiene una profundidad promedio de 20 cm (Figura 3A).
2. Pastizal arbolado: básicamente está constituido por especies terrestres de zonas abiertas como *Cenchrus clandestinus*, *Trifolium repens*, *Anthoxanthum odoratum* y *Cucurbita ficifolia*, y algunos individuos arbóreos sembrados, principalmente *Pinus patula*, *Fraxinus chinensis*, *Acacia decurrens* y *Paraserianthes lophantha*. No presenta inundación evidente (Figura 3B).
3. Pradera enraizada emergente: se caracteriza por la presencia de especies enraizadas emergentes de bajo porte como *Eleocharis macrostachya* y *Juncus microcephalus*, así como de algunas especies sumergidas como *Nitella clavata* y *Utricularia gibba*. La profundidad de la columna de agua es, en promedio, de 1 m (Figura 3C).
4. Arbustal inundable: se caracteriza por la mezcla de especies acuáticas como *J. effusus* y especies leñosas tolerantes a la inundación como *Salix viminalis* y *Salix humboldtiana*. La columna de agua tiene una profundidad promedio de 20 cm (Figura 3D).

Las comunidades con mayor similitud son la pradera graminoide inundable y el pastizal arbolado, ya que comparten algunas de las especies más abundantes del estudio, como *C. clandestinus*. A estas dos les sigue la pradera enraizada emergente, en la cual también hace presencia *C. clandestinus* en una muy baja proporción, aunque comparte más especies con la pradera graminoide inundable que con el pastizal arbolado. Por último, con una sola parcela, se encuentra el arbustal inundable, en donde la presencia de *C. clandestinus* es mínima (Figura 2A). Al ordenar las comunidades con el NMDS y el índice de Horn, se observó que sobre el extremo izquierdo de la coordenada 1 está la pradera enraizada emergente, con mayor profundidad, seguida hacia la mitad del eje por la pradera graminoide inundable y el arbustal inundable, ambas con características de litoral, y, finalmente, en el extremo derecho del eje, está el pastizal arbolado, la comunidad con poco o ningún nivel de inundación (Figura 2B).

La riqueza estimada y la riqueza total registradas evidenciaron que la comunidad con más especies es el pastizal arbolado, seguido de la pradera graminoide inundable, y en los últimos lugares, la pradera enraizada emergente y el arbustal inundable (Tabla 2 y Figura 4). El esfuerzo de muestreo fue representativo para las comunidades acuáticas en la medida en que el intervalo de confianza superior fue mayor al intervalo de confianza inferior de la riqueza esperada y que, además, registró más del 90 % de la riqueza esperada (Tabla 2). Lo contrario ocurrió con la vegetación terrestre, la cual no tuvo representatividad estadística ni un porcentaje apreciable de la riqueza registrada (pastizal arbolado) (Tabla 2). Al hacer la curva de extrapolación de la riqueza con 1.000 interceptos, se observó el mismo patrón que en la riqueza registrada (Figura 4) y se pudo calcular el esfuerzo de muestreo adicional necesario para alcanzar el límite inferior de la riqueza esperada, que para el caso del pastizal

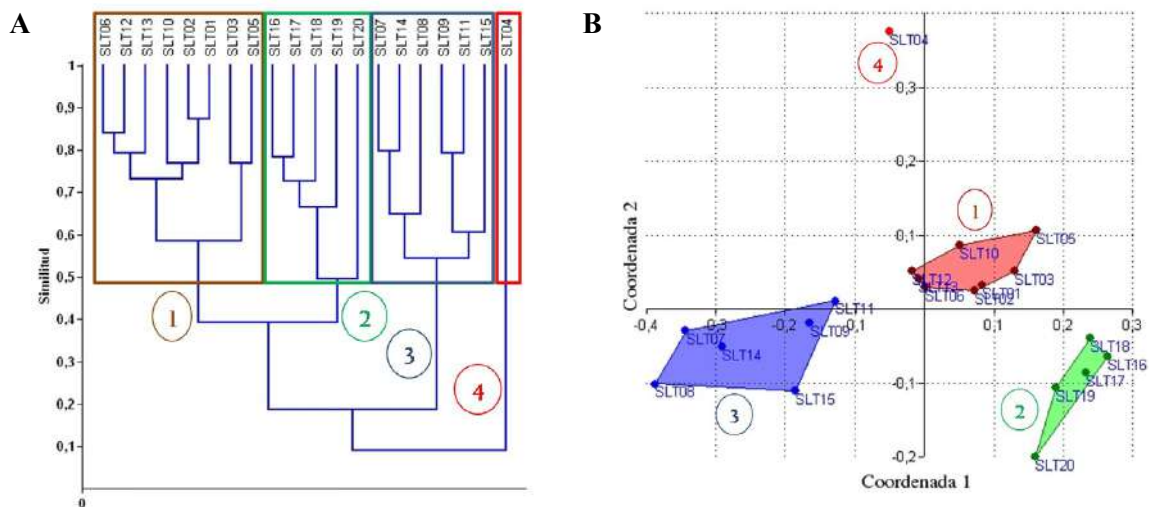


Figura 2. Clasificación y ordenación de las comunidades vegetales presentes en el humedal El Salitre. **A)** Dendrograma de clasificación utilizando el índice de Horn. **B)** Diagrama del NMDS de los grupos resultantes. 1) Pradera graminoide inundable; 2) pastizal arbolado; 3) pradera enraizada emergente, y 4) arbustal inundable



Figura 3. Comunidades vegetales del humedal El Salitre. **A-B)** Pradera graminoide inundable. **C-D)** Pradera enraizada emergente. **E)** Arbustal inundable. **F)** Pastizal arbolado. Fotos: Diego Cabrera

arbolado sería de un 71 % adicional (Tabla 2), probablemente debido a la distribución no aleatoria de los individuos. En todos los casos, el número de especies registrado con las colecciones generales fue mayor al registrado con el punto intercepto (observado y extrapolado), y estuvo dentro del rango establecido por la riqueza esperada según el modelo de Chao 2 (Tabla 2).

Estructura de la vegetación. La mayor concentración de la cobertura se registró en los estratos herbáceo y rasante en todas las comunidades, con excepción del arbustal inundable, en donde los estratos arbustivos y subarbóreos tienen más cobertura (Figura 5). En la pradera enraizada emergente hay una ligera ventaja en cobertura del estrato rasante frente al herbáceo, en donde tienen mayor cobertura

Tabla 2. Riqueza estimada y esfuerzo de muestreo por comunidad vegetal en el humedal El Salitre

Comunidad	Número de especies registrado				Riqueza esperada: Chao 2			S obs / S est	S obs IC(+) >= S est IC(-)	%N: S obs >= S est IC(-)	N
	Colección general	S obs	S obs IC(-)	S obs IC(+)	S est	S est IC(-)	S est IC(+)				
Graminoide inundable	49	39	34,8	43,2	43,0	39,8	58,8	91%	Sí	11%	385
Enraizada emergente	21	15	15	15	15	15	15	100%	Sí	0%	250
Arbustal inundable	5 (17)	3	3	3	3	3	3	100%	Sí	0%	49
Pastizal arbolado	70	40	30,5	49,5	74,9	49,6	166	53%	No	71%	247
Total general	144	68	59,7	76,3	87,4	74,1	130,3	78%	Sí	41%	931

S: riqueza (#especies); Obs: observado; Est: estimado/esperado; IC(-): intervalo de confianza de 95 %, límite inferior; IC(+): intervalo de confianza de 95 %, límite superior; S obs/S est: porcentaje de la riqueza observada frente a la esperada; S obs IC(+) >= S est IC(-): superposición entre el intervalo de confianza superior de la riqueza observada y el intervalo de confianza inferior de la riqueza esperada; N: número de interceptos; %N S obs IC(+) >= S est IC(-): esfuerzo de muestreo adicional necesario para igualar o superar el intervalo de confianza inferior de la riqueza esperada

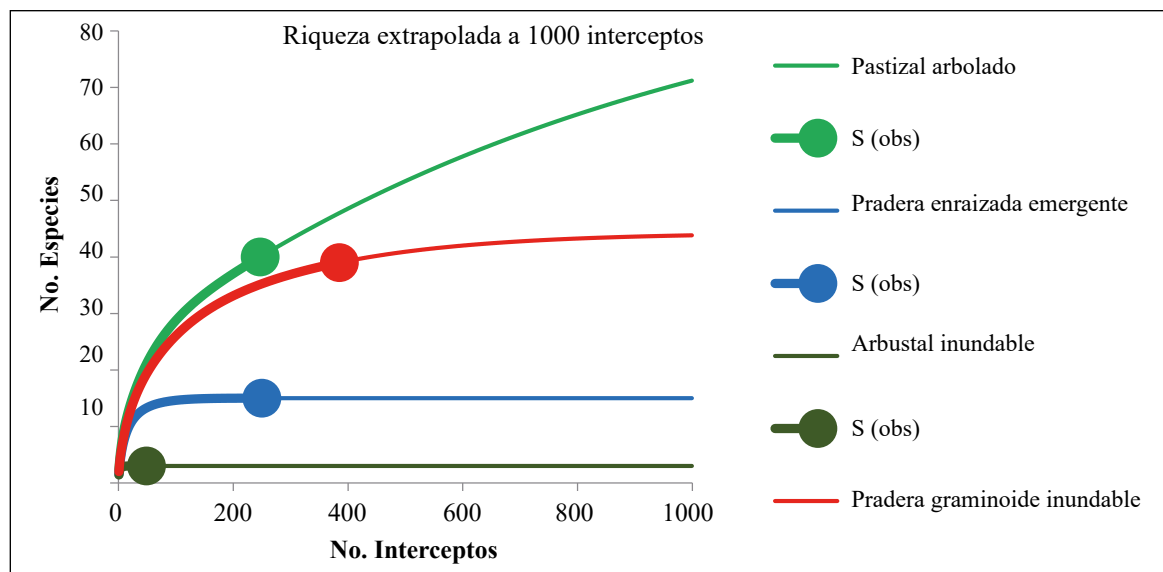


Figura 4. Curva de acumulación de especies en el humedal El Salitre. S obs: riqueza observada.

Eleocharis macrostachya y *Polygonum hydropiperoides* (acuáticas), la primera muy abundante también en el herbáceo junto a *Typha latifolia* y *Cyperus rufus* (acuáticas); en esta comunidad predominan las especies nativas (Figura 5A). En la pradera graminoide inundable las especies más abundantes fueron *C. clandestinus* (terrestre) y *J. effusus* (acuática), con tendencia a una mayor abundancia de especies exóticas (mayormente terrestres) (Figura 5B). En el arbustal inundable los estratos arbustivo alto y subarbóreo alto presentan los mayores valores de cobertura, básicamente representada por *S. humboldtiana* (nativa), mientras que *S. viminalis* (exótica) es la más abundante en los estratos arbustivos y *J. effusus* (acuáticas) se destaca también en el herbáceo; esta comunidad es una mezcla de especies nativas y exóticas tolerantes a la inundación (Figura 5C). Por último, en el pastizal arbolado *C. clandestinus* (exótica) se presenta la mayor cobertura en los estratos rasante y herbáceo, en

donde solo se destaca en segundo lugar *C. ficifolia* (nativa); los estratos superiores tienen cerca del 40 % de cobertura y se destacan allí las especies exóticas *P. patula*, *A. decurrens* y *Fraxinus uhdei* (Figura 5D).

Al observar en detalle el arbolado del humedal con base en los datos del Jardín Botánico de Bogotá (SIGAU, 2017), fue posible apreciar que la mayor aglomeración de individuos de gran porte (mayor altura, ancho de copa y diámetro a la altura del pecho, DAP) se encuentra en los sectores norte y oriental del humedal, la mayoría de ellos pertenecientes a la especie *P. patula*, además de *Acacia* spp. y *F. uhdei* (Figura S1A, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/824/2584>). Otro gran núcleo de árboles, esta vez de porte medio, se encuentra en el costado occidental, con una gran proporción de individuos de *A. decurrens* y *Pittosporum undulatum* (Figura S1B, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/>

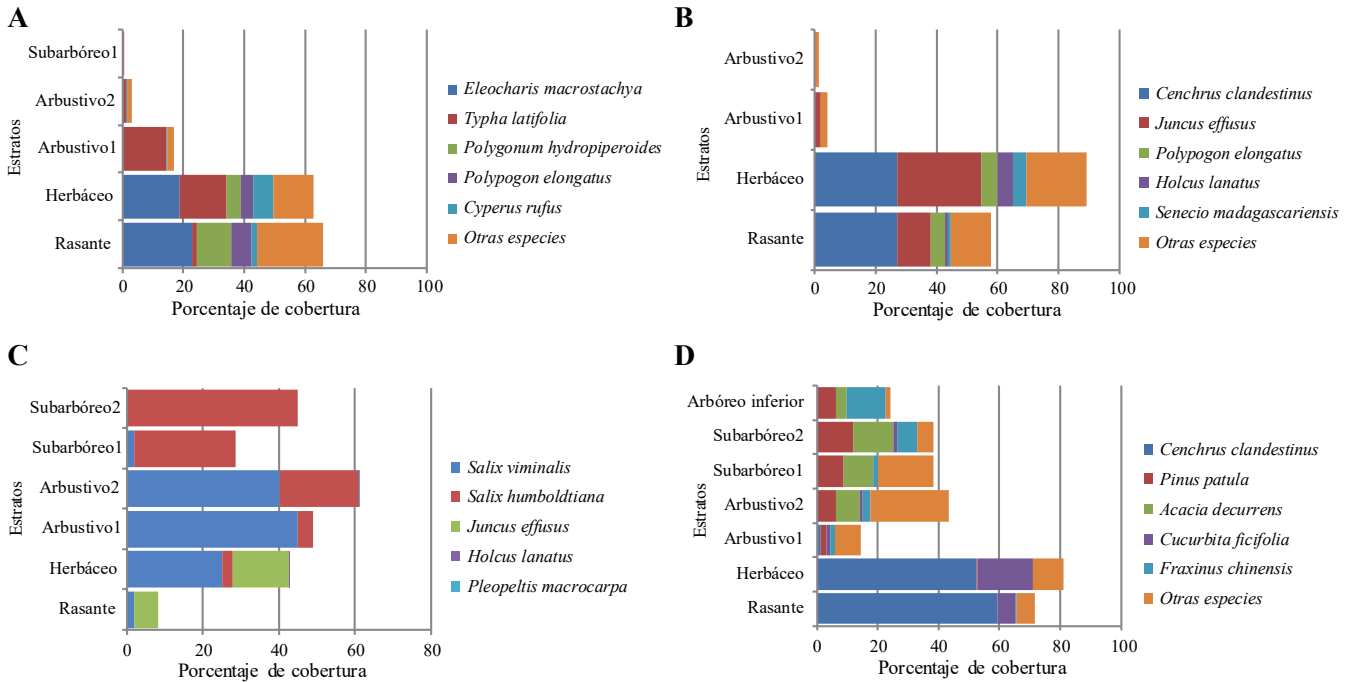


Figura 5. Porcentaje de cobertura por estrato y especies más abundantes. **A)** Pradera enraizada emergente. **B)** Pradera graminoide inundable. **C)** Arbustal inundable. **D)** Pastizal arbolado.

view/824/2584). Por último, hacia el sur del humedal se encuentra una gran aglomeración de individuos de pequeño porte, de tipo arbustivo o nativos, más recientemente sembrados, puesto que es la zona deportiva del Parque Recreación-deportivo El Salitre (Figura S1). Hay un amplio espacio con una baja densidad de árboles entre el costado norte del cuerpo de agua y el Parque de Atracciones Salitre Mágico, el cual ha sido destinado por la administración distrital para la construcción de escenarios deportivos (Figura S1).

Discusión

Riqueza y composición. Los resultados sobre riqueza y composición de la vegetación acuática comprobaron parcialmente la hipótesis planteada en este sentido, pues el número de especies exóticas fue muy bajo. En cuanto a la vegetación terrestre, la hipótesis inicial se cumplió en lo referente a la composición y el porcentaje de especies exóticas, pero se encontró una riqueza mayor a la esperada, lo que indicaría que el humedal tiene mejores condiciones de hábitat para el desarrollo espontáneo o natural de las especies nativas que las esperadas; vale la pena recordar que antes, en la época del Parque de diversiones El Salitre, era un antiguo lago artificial recreativo (Abril-Pulido, 2014). La riqueza de la vegetación es claramente menor que la reportada para los humedales de la Sabana de Bogotá (Schmidt-Mumm, 1998) y que la del humedal Jaboque y sus alrededores, informada en los más recientes estudios (Cabrera-Amaya, et al., 2017), por lo menos en lo referente a la vegetación acuática; en cuanto a la vegetación terrestre, la riqueza encontrada se

acerca al 60 % de la riqueza en el arbolado urbano de la microcuenca Jaboque (Cabrera-Amaya, et al., 2017). Esto es razonable teniendo en cuenta que el área del humedal El Salitre es pequeña comparada con otros humedales de la Sabana de Bogotá (incluidos su cuerpo de agua y las zonas circundantes propuestas en este estudio), ya que es de esperar que haya menos especies en fragmentos pequeños que en fragmentos grandes de vegetación (Connor & McCoy, 2001). Por ejemplo, en la microcuenca del humedal Jaboque, el Jardín Botánico de Bogotá ha reportado menos especies en el humedal La Florida y en el humedal Jaboque Norte que en el humedal Jaboque propiamente dicho, ya que este es el más grande de los tres (Cabrera-Amaya, et al., 2017). En cuanto a la composición de la flora, la mayoría de las especies acuáticas del humedal El Salitre (nativas y exóticas) son muy frecuentes en los humedales de la Sabana de Bogotá (Cabrera-Amaya, et al., 2017; Schmidt-Mumm, 1998; Wijninga, et al., 1989), pero se encuentran ausentes algunas de las catalogadas como invasoras o potencialmente invasoras de los humedales de Bogotá, tales como *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* o *Limnobium laevigatum* (Díaz-Espinosa, et al., 2012), aunque hoy se sabe que estas proliferan cuando hay altas concentraciones de nutrientes en el agua, principalmente debidas a la contaminación por vertimientos (Beltrán-Vargas & Rangel-Ch., 2013). Estos hallazgos respaldan las conclusiones sobre el buen estado trófico del humedal El Salitre según los criterios limnológicos reportados anteriormente (Pulido-López & Pinilla-Agudelo, 2017). Además, la presencia del alga caroficea *N. clavata* en la vegetación acuática es un registro de interés para este

humedal, pues anteriormente solo se había registrado en el municipio de Mosquera (**Schmidt-Mumm, 1998**). Con respecto a la vegetación terrestre, se destaca que en un área tan pequeña haya un porcentaje alto de las especies del arbolado urbano de los humedales, como es el caso del humedal Jaboque (**Cabrera-Amaya, et al., 2017**). Ello se explicaría por el tipo de siembras que realizan las entidades distritales, pues estas especies están representadas por individuos muy pequeños, es decir, que se han sembrado recientemente (**SIGAU, 2017**), y no son tan abundantes como las pocas especies dominantes encontradas, como se discutirá más adelante. Se destaca también el registro de la orquídea terrestre *Stenorrhynchos speciosum*, protegida por la legislación vigente como especie en veda (**INDERENA, 1977**).

Comunidades vegetales. Los resultados sobre las comunidades vegetales del componente acuático del humedal El Salitre desvirtúan la segunda hipótesis planteada, pues no solo hay vegetación de litoral (dos comunidades), sino también de aguas abiertas, a pesar de la poca profundidad del humedal. Los humedales de la Sabana de Bogotá presentan una amplia gama de comunidades acuáticas según su ubicación por batimetría y regímenes de inundación (**Hernández-R. & Rangel-Ch., 2009; Schmidt-Mumm, 1998**), y también según el patrón de sedimentación, de nutrientes y de contaminantes que puedan presentar los cuerpos de agua (**Beltrán-Vargas & Rangel-Ch., 2013**). En el humedal El Salitre se observan tres comunidades de vegetación acuática que, inicialmente, no aparecen muy claramente en el análisis de clasificación, pues dos de ellas aparentemente presentan similitudes con la comunidad terrestre de pastizal arbolado; sin embargo, al observar la ordenación, su carácter acuático se revela por completo. Así, cobra más peso el tipo de especies acuáticas únicas que comparten estas comunidades que las especies terrestres compartidas con el pastizal arbolado, aunque sean muy abundantes. Por ejemplo, a pesar de la poca profundidad de la columna de agua, solo la comunidad de litoral pradera graminoide inundable comparte elementos con la vegetación netamente terrestre, en tanto que no ocurre lo mismo con la pradera enraizada emergente localizada en el extremo derecho del eje 1 de ordenación. Resulta extraña la gran diferenciación del arbustal inundable, pues también es una comunidad de litoral con una posición intermedia en el eje 1 de ordenación, aunque ello se explicaría por el hecho de que, de las tres especies dominantes, solo comparte con la menos abundante mientras que las dos restantes son exclusivas. Dado que El Salitre no presenta vertimientos y su estado trófico es meso-oligotrófico (**Pulido-López & Pinilla-Agudelo, 2017**), no presenta las condiciones para que proliferen especies asociadas con la eutroficación, como *E. crassipes*, *A. filiculoides* o *L. laevigatum*, o aquellas asociadas con la sedimentación, como *Schoenopletus californicus* (**Díaz-Espinosa, et al., 2012**). Por otro lado, el pastizal arbolado es un césped de *C. clandestinus* con una

combinación de especies nativas y exóticas tal como se ha encontrado en el Parque La Florida y la ronda del Humedal Jaboque en Bogotá (**Cabrera-Amaya, et al., 2017**).

Estructura de la vegetación. Los resultados obtenidos sobre la estructura de las comunidades también validan parcialmente la tercera hipótesis, por lo menos en lo que se refiere a la dominancia de *C. clandestinus* en comunidades acuáticas, pues solo fue dominante en una de las comunidades de litoral (pradera graminoide inundable); por lo demás, en la vegetación terrestre se encontraron los resultados esperados para los estratos bajos y altos. Esto indica que, probablemente, el componente acuático tiene un mejor estado de conservación, así como sucede en este mismo humedal con relación al estado trófico de sus aguas (**Pulido-López & Pinilla-Agudelo, 2017**). La estructura de las comunidades acuáticas registradas concuerda con los modelos planteados para los humedales de la Sabana de Bogotá (**Hernández-R. & Rangel-Ch., 2009; Schmidt-Mumm, 1998; Wijninga, et al., 1989**), pero solo en lo referente a la cobertura general de las especies dominantes, pues poco o nada se dice en dichos estudios acerca de los estratos, los cuales, aunque arbitrarios (a diferencia de lo que sucede en los bosques), dan una idea de la estructura vertical de la vegetación al utilizar el porcentaje de cobertura, la que a su vez da luces sobre la biomasa allí representada (**Jonasson, 1988**). No obstante, se observa en muchas especies de vegetación acuática que, a pesar de presentar la mayor altura, la cobertura se concentra en los estratos más bajos, al contrario que en los bosques. En este punto se evidencia un patrón que siempre se pasa por alto y que pone de relieve la utilidad de analizar la vegetación herbácea acuática o terrestre a partir de la cobertura por estratos. Es muy poca la información disponible sobre la vegetación terrestre en el arbolado urbano de los humedales de Bogotá en cuanto a su estructura, con excepción tal vez de los aportes de **ADESSA & EAAB (2006)**, **Córdoba (2016)** y **Cabrera-Amaya, et al. (2017)** en el humedal de Jaboque y alrededores, y de la **Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, SDA (2010)** sobre el humedal Santa María del Lago. Dichos trabajos y el presente estudio concuerdan en que una gran proporción de los individuos de gran y mediano porte está representada en especies exóticas como *P. patula*, *Eucalyptus globulus*, *F. uhdei* (anteriormente *F. chinensis*), *P. undulatum*, *Acacia* spp. o *Sambucus nigra*. No obstante, a pesar de que las especies nativas son tan abundantes como las exóticas en el arbolado asociado con los humedales de Bogotá (**Cabrera-Amaya, et al., 2017**), estas se encuentran principalmente representadas en el humedal El Salitre por plantones o por individuos pequeños, lo que significa que funciones ecológicas como el carbono acumulado o los recursos faunísticos (refugio y alimento), tendrán poco impacto en el humedal durante el tiempo que tardan en madurar dichos individuos. Teniendo en cuenta que un arbolado urbano más diverso en especies nativas presta mejores servicios ecosistémicos, incluso en la ciudad de Bogotá (**Escobedo, et al., 2015**), es importante

hacer el monitoreo del arbolado nativo en estado más joven y continuar con el enriquecimiento de los pastizales en este humedal, ya que la densidad de árboles nativos y la cantidad de vegetación natural y multiestratificada se han establecido como las variables más importantes para mantener la diversidad en espacios verdes urbanos y la calidad de hábitat para las aves en zonas tropicales de Brasil (Reis, *et al.*, 2012) y en zonas templadas de Suecia (Sandström, *et al.*, 2006).

Conclusiones

El humedal El Salitre presenta poca riqueza en comparación con otros humedales de la Sabana de Bogotá, probablemente por su pequeña área, pero cuenta con una composición de especies habituales en otros humedales, tanto en el componente acuático como en el terrestre. También es pequeña la representación de las comunidades más frecuentes de los humedales, particularmente las acuáticas y, en alguna medida, las terrestres, con una estructura horizontal (porcentaje de cobertura, diámetro del troco) y vertical (estratos y alturas) acordes con lo reportado en la Sabana de Bogotá. Por último, vale la pena resaltar que se confirma el papel del humedal El Salitre como referencia para el resto de los humedales de Bogotá en cuanto a las características tróficas del cuerpo de agua, pero ahora también en cuanto a la vegetación acuática que aparece libre de especies asociadas con altas cargas de nutrientes. En próximos estudios será necesario incluir las interacciones ecológicas con la fauna (aves e insectos), así como el análisis de la calidad de aire, el secuestro de carbono en suelo y la biomasa en pie.

Agradecimientos

Al Jardín Botánico de Bogotá por el apoyo logístico e institucional, al Instituto Distrital de Recreación y Deporte (IDRD) por el acceso al humedal El Salitre, y a los operarios Carlos Fonseca y Jhon Jairo Bernal por la ayuda en campo.

Material suplementario

Anexo S1. Lista de las especies de plantas y líquenes del Humedal El Salitre. Vea el anexo S1 en: <https://www.racefyn.co/index.php/racefyn/article/view/824/2545>

Tabla S1. Familias con mayor riqueza en el Humedal El Salitre. Vea la tabla S1 en: <https://www.racefyn.co/index.php/racefyn/article/view/824/2546>

Tabla S2. Géneros con mayor riqueza en el Humedal El Salitre. Vea la tabla S2 en: <https://www.racefyn.co/index.php/racefyn/article/view/824/2547>

Figura S1. Distribución del arbolado urbano en el Humedal El Salitre. **A)** Altura y diámetro de copa. **B)** Diámetro a la altura del pecho (DAP). **C)** Grupo taxonómico. Fuente: © Colaboradores de OpenStreetMap, 2018. Vea la figura S1 en: <https://www.racefyn.co/index.php/racefyn/article/view/824/2584>

Contribución de los autores

Diego Mauricio Cabrera Amaya, recolección y análisis de datos, concepción, diseño, escritura del documento y proceso editorial. José Wilfredo López Cruz, recolección y tabulación de datos, procesamiento de muestras y registro fotográfico.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- © **Colaboradores de OpenStreetMap.** (2018). Nodo Bogotá (Mapa callejero). Fecha de consulta: 16 de diciembre de 2018. Disponible en: www.openstreetmap.org/node/671806634
- Abril-Pulido, E.** (2014). Humedal El Salitre: un ejemplo exitoso de la defensa de los humedales de Bogotá. *Revista Fulica*. **1** (1): 17-21.
- Alcalde Mayor de Bogotá.** (2007). Decreto 624 de 2007. Por el cual se adopta la visión, objetivos y principios de la Política de Humedales del Distrito Capital. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2018. Recuperado de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=28132>
- Alcaldía Local de Barrios Unidos.** (2014). Plan Ambiental Local 2013-2016. Bogotá, DC.: Alcaldía Local de Barrios Unidos. Fecha de consulta: 31 de diciembre de 2018. Recuperado de Alcaldía Local de Barrios Unidos website: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883168/PAL+Barrios+Unidos+2013-2016.pdf>
- Asociación para el Desarrollo Social y Ambiental, ADESSA & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB.** (2006). Plan de Manejo Ambiental del Humedal Jaboque. Convenio de cooperación No. 9-07-24100-061-2006 (p. 601). Bogotá, D.C.: Asociación para el Desarrollo Social y Ambiental (ADESSA) & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).
- Beltrán-Vargas, J. E., & Rangel-Ch., J. O.** (2013). Modelación del estado trófico del humedal de Jaboque, Bogotá DC, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. **18** (1): 149-164.
- Cabrera-Amaya, D. M., Lopera-Doncel, C., Vásquez-Valderrama, M. Y., Sandoval-Ramos, M., López-Cruz, J. W.** (2017). Diversidad florística y cambios en las coberturas de la cuenca del humedal Jaboque y el parque La Florida (Bogotá, Colombia). *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **41** (160): 326-337.
- Cleef, A. M. & Hooghiemstra, H.** (1984). Present vegetation of the area of the high plain of Bogotá. In H. Hooghiemstra (Ed.). *Vegetation and Climatic History of the High Plain of Bogotá, Colombia* (pp. 1–368). Vaduz, Liechtenstein: Ganter Verlag.
- Colwell, R.K.** (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Versión 9. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>. Disponible en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>
- Colwell, Robert K., Chao, A., Gotelli, N. J., Lin, S.-Y., Mao, C. X., Chazdon, R. L., Longino, J. T.** (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*. **5** (1): 3-21. Doi: 10.1093/jpe/rtr044
- Concejo de Bogotá.** (2011). Acuerdo 487 de 2011. Por el cual se declara el área inundable “El Salitre” ubicada al interior del parque el Salitre, como parque ecológico Distrital de

- humedal. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2018. Recuperado de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45124&dt=S>
- Connor, E. F. & McCoy, E. D.** (2001). Species–Area Relationships. In S. A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 397–411). Doi: 10.1016/B0-12-226865-2/00252-2
- Córdoba, M.** (2016). Proyecto de recuperación y restauración ecológica en el Parque Ecológico Distrital de Humedal Jaboque, con miras a la identificación e implementación de medidas de adaptación al cambio climático (p. 45). Bogotá, D. C., Colombia: Convenio Interadministrativo No. 001 de 2015. Fondo Distrital para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático (FONDIGER) & Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Subdirección Técnica.
- Departamento Administrativo de Medio Ambiente, DAMA.** (2006). Política de humedales del Distrito Capital. Bogotá, D. C., Colombia: Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAMA) - Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Departamento Administrativo de Medio Ambiente, DAMA.** (2002). Los humedales del altiplano en Bogotá, bases técnicas para su conservación, restauración y manejo. Documento Técnico. Bogotá, DC.: Departamento Administrativo del Medio Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Díaz-Espinosa, A. M., Díaz-Triana, J. E., Vargas, O.** (2012). Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá. Bogotá, D.C.: Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia y Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá, D.C., Colombia. p. 248.
- Escobar, J.** (2016). Naturaleza identificada: construcción colectiva de un mapa de humedales en Bogotá. In M. A. Mejía (Ed.), *Naturaleza Urbana* (pp. 30–37). Bogotá D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt.
- Escobedo, F. J., Clerici, N., Staudhammer, C. L., Corzo, G. T.** (2015). Socio-ecological dynamics and inequality in Bogotá, Colombia's public urban forests and their ecosystem services. *Urban Forestry & Urban Greening*. **14** (4): 1040-1053. Doi: 10.1016/j.ufug.2015.09.011
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D.** (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. **4** (1): 1-9.
- Hernández-R., J. & Rangel-Ch., J. O.** (2009). La vegetación del humedal de Jaboque (Bogotá, D.C.). *Caldasia*. **31** (2): 355-379.
- Horn, H. S.** (1966). Measurement of “overlap” in comparative ecological studies. *American Naturalist*. **100** (914): 419-424.
- INDERENA** (Ed.). (1977). Resolución no. 0213 de febrero de 1977 por la cual se establece veda para algunas especies y productos de la flora silvestre. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2018. Recuperado de http://cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion%20213%20de%201977-Feb-01.pdf
- Jonasson, S.** (1988). Evaluation of the Point Intercept Method for the Estimation of Plant Biomass. *Oikos*. **52** (1): 101. Doi: 10.2307/3565988
- Matteucci, S., & Colma, A.** (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Washington D.C., USA.: Secretaría General de la Organización de Estados Americanos (OEA).
- Pulido-López, P. C. & Pinilla-Agudelo, G. A.** (2017). Evaluación del estado trófico de El Salitre, último humedal urbano de referencia en Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **41** (158): 41-50.
- Reis, E., López-Iborra, G. M., Pinheiro, R. T.** (2012). Changes in bird species richness through different levels of urbanization: Implications for biodiversity conservation and garden design in Central Brazil. *Landscape and Urban Planning*. **107** (1): 31-42. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.04.009
- Sandström, U. G., Angelstam, P., Mikusiński, G.** (2006). Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space. *Landscape and Urban Planning*. **77** (1-2): 39-53. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2005.01.004
- Schmidt-Mumm, U.** (1998). Vegetación acuática y palustre de la Sabana de Bogotá y plano del río Ubaté (Tesis de Maestría), Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología).
- Secretaría Distrital de Ambiente.** (2010). Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2018. Recuperado de http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=fb4fd890-ec1e-4925-ada3-5a5058ab1ddf&groupId=3564131
- Secretaría Distrital de Ambiente.** (2009). Resolución 5195 de 2009. Por el cual se adopta la visión, objetivos y principios de la Política de Humedales del Distrito Capital. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2018. Recuperado de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37552&dt=S>
- Sistema de Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá, SIGAU.** (2017). Sistema de Gestión del Arbolado Urbano - Visualizador Web. Fecha de consulta: 1 de noviembre, 2017. Disponible en: <http://sigau.jbb.gov.co/SigauJBB/VisorPublico/VisorPublico>
- Van der Hammen, T.** (1986). La Sabana de Bogotá y su lago en el Pleistoceno Medio. *Caldasia*. **15** (71-75): 249-262.
- Van der Hammen, T., Stiles, F. G., Rosselli, L., Chisacá, M. L., Camargo, G., Guillot, G., ... Rivera, D.** (2008). Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Bogotá, D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente.
- Wijninga, M. V., Rangel, J. O., & Cleef, A. M.** (1989). Botanical ecology and conservation of the Laguna de la Herrera (Sabana de Bogotá, Colombia). *Caldasia*. **16** (76): 23-40.