

Hábitat de ictiofauna
nativa en un área en
rehabilitación ecológica
en la Sabana de Bogotá
*Native ichthyofauna habitat in an
ecological rehabilitation area
in Sabana de Bogotá*

José Arnaldo Muñoz¹

1. Línea de investigación en Restauración Ecológica,
Subdirección Científica, Jardín Botánico de Bogotá José
Celestino Mutis.

jjamunozd89@gmail.com, jmunoz@jbb.gov.co

Recibido: 23/09/2022 | Aceptado: 15/08/2023

Resumen

Se exploraron e implementaron estrategias para el mejoramiento de la calidad del hábitat de ictiofauna nativa en una quebrada y en un remanente de humedal en el marco de un proceso de rehabilitación ecológica en la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia. Se implantó material vegetal en las rondas hídricas y se intervinieron directamente los cuerpos de agua. Los resultados sugieren que se deben contemplar de manera previa aspectos socioeconómicos y ecosistémicos más amplios para mejorar la calidad del agua y que se deben combinar estrategias de restauración activa y pasiva para garantizar la restitución de la vegetación riparia. el Índice de Idoneidad del Hábitat (HSI) se proyecta como un modelo apropiado para el monitoreo de las respuestas de las especies y del área a las acciones implementadas.

Palabras clave: Peces dulceacuícolas. Capitán de la sabana. Guapucha. Humedal. Chía. Cundinamarca.

Abstract

Strategies to enhance habitat quality for the native ichthyofauna in a stream and a wetland were examined and executed as part of an ecological rehabilitation project in Sabana de Bogotá, Eastern Cordillera, Colombia. Vegetation

was planted in the riparian zone, and direct interventions were conducted in the watercourses. Based on the results, it is suggested that broader socio-economic and ecosystem aspects should be considered beforehand to improve water quality. It is also suggested that a combination of active and passive restoration strategies is required to ensure the reestablishment of riparian vegetation. The Habitat Suitability Index (HSI) is projected as an appropriate model to monitor the species and site responses to the implemented actions.

Key words: Freshwater fishes. Invasive species. Capitan de la sabana. Guapucha. Wetland. Chía. Cundinamarca.

Introducción

Los ecosistemas de la Sabana de Bogotá, en los Andes colombianos, sufrieron una acelerada transformación a partir de la Colonia, época en la que los europeos introdujeron y dispersaron un sinnúmero de especies de flora y fauna por el Nuevo Mundo que junto con la implementación de la ganadería y la agricultura intensivas reemplazaron gran parte de las coberturas vegetales originales (Hernández-Schmidt, M., 2016; Molina, L., y Acosta, C., 2018).

Tal ha sido la alteración, que en la actualidad en estos paisajes predominan extensos pastizales exóticos compuestos principalmente por *Anthoxanthum odoratum* L. (pasto de olor), *Holcus lanatus* L. (pasto poa) y *Cenchrus clandestinus* (Chiov.) Morrone (pasto kikuyo), gramíneas con alto potencial de invasión en el país (Cárdenas-López, D., Baptiste, M. P., y Castaño, N., 2017). A su vez, gran parte de los ríos, quebradas y humedales han sido escenario de irreversibles procesos de contaminación y de fragmentación ecosistémica con una subsecuente pérdida de biodiversidad, producto de las diversas actividades humanas que sobre estos se han desarrollado (van der Hammen, T., Stiles, F., Rosselli, L., Chisacá, M., Camargo, G., Guillot, G., y Rivera, D., 2008; Gallini, S., Felacio, L., Agredo, A., y Garcés., S., 2014).

Ante este panorama, desde hace más de tres décadas la restauración ecológica se ha perfilado como uno de los principales mecanismos de manejo y conservación de las áreas naturales en el país (Murcia, C., y Guariguata, M., 2014).

Se trata de un proceso con el que se ayuda a la recuperación de un eco-

sistema degradado, garantizando la restitución de sus aspectos estructurales y funcionales, además de la oferta de bienes y servicios que la gente valora (Martin, D. M., 2017). Por su parte, la rehabilitación ecológica está direccionada al restablecimiento de manera parcial de tales aspectos, así como de la productividad y de los servicios ambientales provistos por el área mediante diversas acciones de intervención (McDonald, T., Gann, G. D., Jonson, J., y Dixon, K. W., 2016). Ambos enfoques parten de un diagnóstico preliminar de las áreas con el que se identifica el potencial de recuperación y toman, además, ecosistemas históricos o preexistentes como modelos o referentes para el trasado de metas y estrategias (Vargas, O., Díaz, J., Reyes, S., y Gómez, P., 2012; McDonald *et al.*, 2016).

Cual sea el rumbo, el proceso se puede abordar de manera activa mediante la intervención directa sobre la estructura y composición del ecosistema para acelerar su recuperación y superar las barreras que impiden la sucesión natural o de forma pasiva, con la eliminación o minimización de las perturbaciones causantes de la degradación para inducir con el tiempo tal sucesión (Vargas *et al.*, 2012). Generalmente, muchos de los proyectos de restauración ecológica que se han desarrollado en la región, se centran en el componente vegetal, dejando de lado aspectos tan importantes como el hábitat de fauna silvestre (Murcia y Guariguata, 2014; Rodríguez, I., 2022).

Éste se puede entender como el conjunto de recursos y factores bióticos y abióticos que un área le ofrece a un organismo para su supervivencia y reproducción (Hall, L. S., Krausman, P. R., y Morrison, M. L., 1997). En diversos ecosistemas, especialmente en aquellos de agua dulce, se ha encontrado una correlación positiva entre la riqueza de especies con la diversidad de hábitats y el mejoramiento de su calidad, por lo que este enfoque puede potenciar el éxito de las iniciativas de restauración (Lengyel, S., Mester, B., Szabolcs, M., Szepesváry, C., Szabó, G., Polyák, L., y Aradi, C., 2020).

La Hacienda Yerbabuena, en Chía, Cundinamarca, fue una de las primeras haciendas ganaderas de la Sabana de Bogotá que data de la Colonia, y actualmente es una de las sedes del Instituto Caro y Cuervo (ICC). En este predio, entre 2019 y 2021, en convenio con el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (JBB), se consolidó un Área Piloto de Investigación en Restauración Ecológica (APIRE). Allí, en un escenario de disturbio por invasión

de gramíneas exóticas y por la presencia de especies forestales no nativas también con potencial invasor, se optó por una rehabilitación ecológica activa, teniendo como principal estrategia la implantación densificada de material vegetal mediante diferentes arreglos florísticos (Muñoz, J., 2019a).

Esta zona hace parte de la microcuenca de la quebrada Santiamén y cuenta además con un remanente de humedal, ambos con un fuerte proceso de eutrofización y en los que se registraron especies dulceacuícolas como el pez capitán de la sabana, *Eremophilus mutisii* (Humboldt, 1805) — familia Trichomycteridae, orden Siluriformes —, y la guapucha, *Grundulus bogotensis* (Humboldt, 1821) — familia Characidae, orden Characiformes —, la primera endémica de la cuenca del Magdalena (altiplano cundiboyacense), y la segunda de los Andes (Maldonado-Ocampo, J., Ortega, A., Usma, J., Galvis, G., Villa, F., Vásquez, L., Prada, S. y Ardila, C., 2005).

El pez capitán de la Sabana, estuvo hasta hace unos años catalogado como una especie vulnerable (VU, VU B2b iii, UICN) pues se enfrentaba a un riesgo de extinción en estado de vida silvestre principalmente por la pérdida de hábitat (Mojica, J., Usma, J., Álvarez, R. y Lasso, C., 2012), pero en la actualidad, debido quizá a las diversas acciones de conservación que se han promovido en el país, se encuentra en la categoría de preocupación menor (LC) (Mesa, L., Alonso, J. C. y Mojica, J., 2016). En este contexto, los objetivos del presente reporte de caso fueron i) explorar e implementar estrategias de rehabilitación ecológica acordes con el escenario de disturbio y que aportaran en una fase inicial al mejoramiento de la calidad del hábitat de la ictiofauna presente en los cuerpos hídricos de la Hacienda Yerbabuena y ii) proponer lineamientos generales para el seguimiento y monitoreo de los efectos de las intervenciones realizadas.

Metodología

El área de estudio. La Hacienda Yerbabuena se encuentra ubicada en la vereda Yerbabuena del municipio de Chía, Cundinamarca, sobre la vía Bogotá-Tunja (4° 52'41,8" N, 74° 0'47,8" W) (Figura 1) a una altura media de 2554 m.s.n.m. en la Cordillera Oriental de Colombia. El APIRE comprende 3,2 hectáreas de las 21,1 ha del predio y presenta una temperatura ambiental promedio de 14 °C (Muñoz, J., 2019b).

Su relieve es de origen fluvial y lagunar en el que se destacan planicies o llanuras de inundación con pendientes suaves y expuestas a inundaciones eventuales y con suelos de origen lacustre (depósitos lacustrinos del antiguo lago de la sabana de Bogotá) constituidos principalmente por arcillas, lo que los hace poco permeables (Muñoz, 2019b). Esta zona hace parte de la micro-cuenca de la Q. Santiamén que drena desde los cerros de la vereda hacia un remanente de humedal al costado suroccidental del predio, cuyo espejo de agua posee un área cercana a los 985 m².

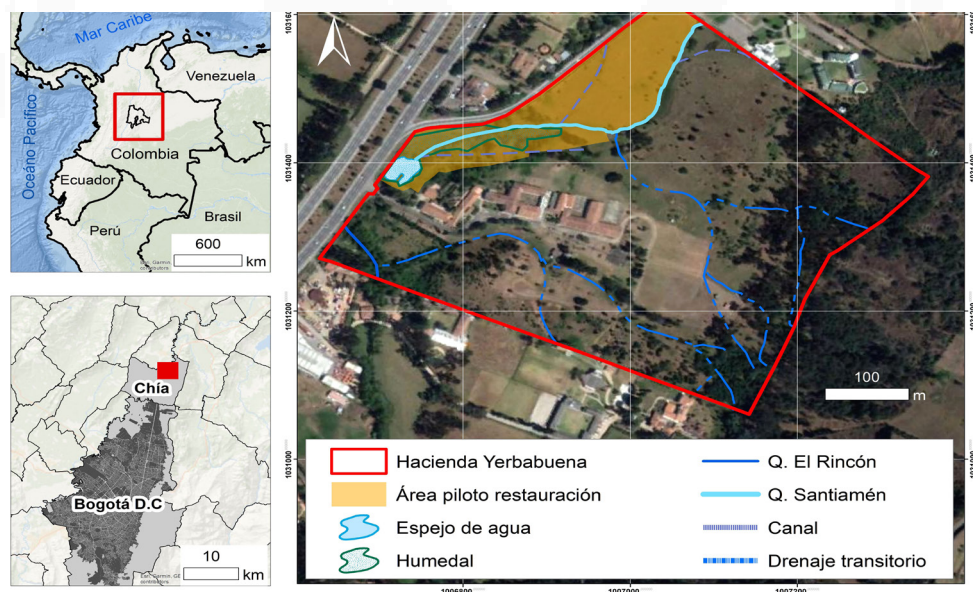


Figura 1. Ubicación de la Hacienda Yerbabuena y área piloto de investigación en restauración ecológica (APIRE).

La Q. Santiamén al interior de la hacienda tiene una longitud aproximada de 446 m y aunque en la cuenca alta recibe vertimientos de aguas residuales domésticas, tanto la calidad de sus aguas como las del remanente de humedal, en términos fisicoquímicos, están dentro de los rangos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015 para vertimientos puntuales a cuerpos hídricos superficiales (Muñoz, 2019b).

Así mismo, esta quebrada se considera como de aguas *muy duras* y el humedal como de *aguas duras* (según su dureza total), y en relación con su

capacidad de adsorción de sodio y a su conductividad eléctrica las aguas se clasifican como de baja salinidad y bajo contenido de sodio, siendo aptas para labores de riego (C1-S1). Sin embargo, la cantidad de oxígeno disuelto es baja y la cantidad de sólidos sedimentables está por encima del valor permisible establecido por dicha resolución (≤ 5 ml/L). A nivel biológico, presentan también bacterias coliformes fecales y totales (Muñoz, 2019b). Tales condiciones propiciaron que estos cuerpos de agua presentaran un importante proceso de eutrofización (Figura 2a, 2b, 2c, 2d).

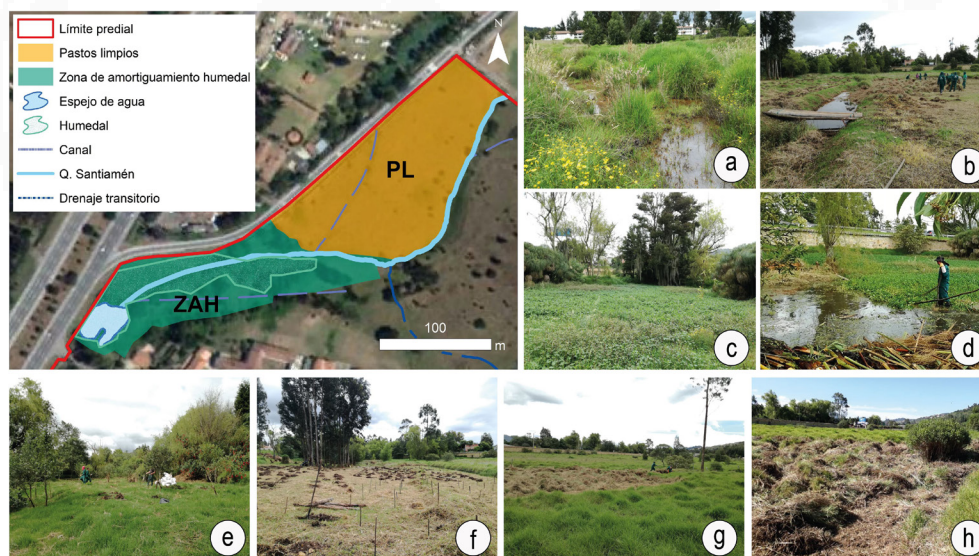


Figura 2. Zonificación del APIRE: a) y b) Estado Q. Santiámén a mediados 2019; c) y d) Remanente de humedal a mediados de 2019; e) y f) Zona de amortiguamiento humedal; g) y h) sector de Pastos limpios.

En el marco del plan de rehabilitación ecológica desarrollado para el APIRE (Muñoz, 2019a), se dividió la zona teniendo en cuenta estos cuerpos hídricos y las coberturas vegetales existentes antes de las intervenciones: la zona de amortiguamiento del humedal (ZAH) con una vegetación arbórea preexistente al proceso de rehabilitación ecológica y con mayor humedad ambiental (1,8 ha) y la zona de pastos limpios (PL) en donde se apreciaba en mayor medida la invasión por gramíneas exóticas (1,4 ha), que además estaba expuesta por completo a las condiciones climáticas de la región (Figuras 2e, 2f, 2g, 2h).

Especies de estudio. Al inicio del proceso de rehabilitación, en estos cuerpos hídricos se registraron especies dulceaquícolas nativas para los Andes como el pez capitán de la sabana (*E. mutisii*), y la guapucha (*G. bogotensis*) (Figura 3). El primero, es un bagre de color verde oscuro y negro con pigmentaciones amarillas o blancas hasta alcanzar en ocasiones tonalidades rosas, azulosas o doradas. Es de cuerpo cilíndrico, desnudo (sin escamas) y de cabeza deprimida, ojos cubiertos por una membrana semitransparente, de boca subterminal con dos pares de narinas separadas entre sí y tres pares de barbillones (nasal, maxilar y mentoniano).

Se caracteriza por no poseer aletas pélvicas ni pectorales y por tener una aleta dorsal además de una caudal redondeada (Mojica et al., 2012; Bastidas, J., y Lemus, C., 2014). Respecto a su biometría, puede llegar a tener una longitud total entre 25 y 30 cm, y hasta 230 g de peso, presentando dimorfismo sexual (las hembras son más grandes que los machos) (Lemus, C., Echavarría, M., Rojas, J., Álvarez, J., León, K., Aguilar, S. y Maldonado, J., 2020).

El capitán de la sabana se distribuye entre los 2500 y 3100 m.s.n.m. en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, con temperaturas medias del agua de 15 a 20 °C. Se le ha reportado en lagunas y embalses, y en quebradas y ríos con alta turbidez y sustrato lodoso, siendo este último relevante para su supervivencia, adecuado para enterrarse, construir pequeñas cavidades y conseguir el alimento. Así mismo se puede encontrar bajo vegetación flotante o emergente, gracias a los desplazamientos que realiza en la columna de agua (Mojica et al., 2012; Bastidas y Lemus 2014).

Pese a que se ha registrado su reproducción durante todo el año con picos reproductivos en época de lluvias (Lemus, C., Echavarría, M., Avella, C., López, W., Useche, P. y Mojica, I., 2017), sus poblaciones han sido afectadas por diversos factores antrópicos entre los que destaca la degradación de su hábitat por la contaminación de las fuentes hídricas — como en el caso de la Hacienda Yerbabuena — y la introducción de especies exóticas con alto potencial invasor a Colombia. Es el caso de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), la carpa (*Cyprinus carpio*) y el cangrejo rojo americano (*P. clarkii*) las cuales se convirtieron en sus depredadores (Mojica et al., 2012; Arias, J., y Pedroza, D., 2018). La guapucha es un pequeño pez de cuerpo corto y robusto, cubierto por escamas cicloideas, con el área dorsal café oscuro, con



Figura 3. Especies de estudio: a) y b) *Eremophilus mutisii*; c) y d) *Grundulus bogotensis*.

una banda lateral gris oscura, y área ventral blanco plateado, aleta pectoral café-amarillenta con 15 radios, aleta caudal bifurcada con 21 radios y dorsal rosado claro con nueve radios, y las aletas pélvicas y anal hialinas.

Una característica importante de este pez, es que a diferencia de muchos Characiformes, no presenta aleta adiposa (Maldonado-Ocampo *et al.*, 2005). Se distribuye desde la sabana de Bogotá hasta Santander (Dahl 1971, citado por Maldonado-Ocampo *et al.*, 2005), formando nidos cerca a la vegetación y con un ciclo de vida cercano a los dos años, sin superar una longitud total de 10 cm. Su dieta se basa en insectos y macrocrustáceos, por lo que es común que su hábitat esté asociado a cuerpos de agua con abundante presencia de macrófitas (Mojica *et al.*, 2012; Roa, C., Prada, S., Álvarez, R., Rivera, C., y Maldonado-Ocampo, J., 2013). También se encuentra catalogada como de preocupación menor (LC) (Mesa *et al.*, 2016), sin embargo, al igual que el capitán de la sabana es depredado por peces exóticos y su hábitat se ve presionado por contaminación hídrica, desecación de humedales y extracción minera (Mojica *et al.*, 2012).

Estrategias de rehabilitación ecológica. De acuerdo con las condiciones biofísicas y climatológicas del área (Muñoz, 2019b) se consideró que esta podría corresponder con un bosque andino de planicie (con zonas transicionales entre planicie inundable y no inundable) por lo que se seleccionó al Bosque Las Mercedes como el ecosistema de referencia. Ubicado al noroccidente del Distrito Capital en la localidad de Suba, este bosque es considerado como el último relicto de este tipo de vegetación para la Sabana de Bogotá, fue declarado Santuario Distrital de Flora y Fauna y hace parte además de la Reserva forestal del borde norte de Bogotá Thomas van der Hammen (Muñoz, 2019a). Para trazar las acciones encaminadas al mejoramiento de la calidad del hábitat de la ictiofauna y acordes con el escenario descrito, se consultaron artículos científicos, documentos técnicos, reportes de caso y demás literatura publicada del ecosistema de referencia y áreas similares, sobre recuperación de cuerpos de agua superficiales y sobre la ecología de las especies mencionadas.

De igual forma, se revisaron los protocolos y guías disponibles para la gestión y conservación de estas especies, identificando posibles indicadores de seguimiento y monitoreo que se pudiesen emplear a mediano y largo plazo para examinar la efectividad de las acciones implementadas. Las estrategias seleccionadas se incluyeron en el plan de rehabilitación ecológica estructurado para el área (Muñoz, 2019a) y su puesta en marcha estuvo en función de los recursos técnicos y financieros disponibles en el marco del convenio interadministrativo.

Resultados

Estrategias implementadas en el remanente de humedal. El espejo de agua y la franja terrestre del humedal (sector ZAH) fueron las primeras zonas intervenidas en 2019. Para la restitución del espejo de agua y procurando ofrecer zonas adecuadas para la presencia de los peces nativos, se establecieron islas de vegetación mediante la remoción manual de la cobertura acuática, dominada por *Pontederia crassipes* Mart. (buchón de agua), y se reconfiguró la línea litoral eliminando la cobertura emergente compuesta por especies como *Polygonum punctatum* Elliott (barbasco) y *Cardamine bonariensis* Juss. ex Pers. (berros) y exóticas invasoras como *Cyperus papyrus* L. (papiro)

y *C. clandestinus* (van der Hammen *et al.* 2008; Mojica *et al.*, 2012; Bastidas y Lemus, 2014). Estas actividades se implementaron en los meses de abril y diciembre de ese año (Figuras 4a y 4b). De otro lado, a un margen de 1,5 m del costado oriental del litoral se estableció con la técnica al tresbolillo una barrera multiestrato (Jarro, C., 2004; 2005) combinando individuos de *Begonia fischeri* Schrank (begonia de pantano), *Smallanthus pyramidalis* (Triana)

H. Rob. (arboloco) y *Dahlia imperialis* Roezl (dalia) plantados a una distancia de 1,5 m uno del otro. Estas acciones de manejo no solo funcionaron como estrategia para el control temporal de la sobrepoblación de macrófitas producto del proceso de eutrofización, sino que además promovieron la oxigenación del agua y permitieron ampliar la diversidad de hábitats, incluso para otros grupos faunísticos como las aves (van der Hammen *et al.*, 2008). La biomasa extraída se compostó y permitió la obtención de sustrato para otras labores propuestas para el área (Muñoz, 2019a).



Figura 4. Estrategias implementadas en el remanente de humedal: a) intervenciones en el espejo de agua en abril de 2019; b) intervenciones en diciembre de 2019; c) y d) núcleos de vegetación establecidos en ZAH.

Durante las intervenciones se hallaron varios especímenes del cangrejo rojo americano o langostilla, *Procambarus clarkii* — familia Cambaridae, orden Decapoda — especie invasora para Colombia y originaria del sur de Estados Unidos y noreste de México (Figura 5) (Flórez-Brand, P., y Espinosa, J., 2011).



Figura 5. Ejemplar de *Procambarus clarkii* en el remanente de humedal (2019).

Es un crustáceo generalista, capaz de modificar su dieta en función de la estacionalidad de las lluvias, y en otros sistemas lénticos de Cundinamarca se comporta como un depredador del pez capitán de la sabana (Bastidas y Lemus, 2014; Arias y Pedroza, 2018), por lo que su presencia es una barrera para la preservación y establecimiento de dicha especie íctica.

Para la franja terrestre se implementó un deshierbe primario eliminando además de las gramíneas dominantes, plantas ornamentales no acordes con la zona (*Rosa* sp., *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng., y *Pelargonium* spp.). Seguido de esta adecuación, se implantaron diferentes núcleos de diversidad altamente densificados (Aguilar, M., Estupiñán, L., Rojas, S., Isaacs, P., Jurado, R., Londoño, M. y Arias, S., 2018) de hasta 61 individuos (separados 1 m entre sí) y combinando especies priseriales o pioneras (de rápido crecimiento). Incluyendo *Alnus acuminata* Kunth (aliso), *Abatia parviflora* Ruiz y Pav. (duraznillo), *Cleome anomala* Kunth (centella), *Smallanthus pyramidalis* (Triana) H. Rob. (arboloco), *Morella parvifolia* (Benth.) Parra-Os. (laurel de cera).

También se aplicaron diferentes especies de los géneros *Baccharis*, *Cestrum* y *Solanum*, algunas mesoseriales como *Myrcianthes leucoxyla* (Ortega) Mc Vaugh (arrayán), *Xylosma spiculifera* (Tul.) Triana y Planch. (corono), *Viburnum triphyllum* Benth. (garrocho), *Juglans neotropica* Diels (nogal) y de los géneros *Citharexylum*, *Escallonia* y *Myrsine*, además de otras tardiseriales (tardías) como *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C. N. Page (pino colombiano) y *Prunus buxifolia* Koehne (cerezo uche) (Figuras 4c y 4d) (Salamanca, B., y Camargo, G, 2000; Jarro, 2005; SDP, 2018).

Estrategias implementadas en la Q. Santiamén. Debido al continuo anegamiento del terreno durante la primera temporada de lluvias de ese mismo año, especialmente en el sector PL, se construyeron varias zanjas de drenaje para redirigir el agua de escorrentía hacia la quebrada (Jarro, 2004). Estas acciones permitieron a su vez adelantar la delimitación de su cauce permanente y la remoción de vegetación emergente (*C. bonariensis* y *P. punctatum*) y de parches de gramíneas exóticas en diferentes tramos para mejorar la oxigenación y el flujo del agua hacia el humedal (van der Hammen *et al.*, 2008; MADS, 2018), recuperando así de forma preliminar su atractivo paisajístico (Muñoz, 2019a).

Teniendo en cuenta los aspectos ecológicos de la guapucha y del pez capitán de la sabana, durante estas labores se procuró mantener lo más intacto posible el lecho de la quebrada y en los tramos más sinuosos se mantuvieron franjas irregulares de macrófitas que le brindaran hábitats adecuados para su supervivencia (Mojica *et al.*, 2012; Bastidas y Lemus, 2014), manteniendo las orillas visibles. Los peces encontrados en la biomasa extraída fueron devueltos al cauce.



Figura 6. Estrategias implementadas Q. Santiamén: a), b) y c) intervenciones durante 2019; d) y e) intervenciones durante 2020.

Para reducir el impacto sobre las poblaciones de ictiofauna, estas actividades se desarrollaron por tramos entre junio y julio y de septiembre a diciembre de 2019 y en agosto de 2020 (Figura 6). Dado que en el sector de PL la quebrada no cuenta con vegetación riparia, se establecieron en algunos tramos a una distancia de 1.5 m desde las orillas, barreras multiestrato de tres y cuatro hileras de individuos separados 1 m entre sí. Se emplearon especies leñosas de diferentes estadios sucesionales de bosques andinos inundables (SDP, 2018) y que son empleadas regularmente para la protección de nacedores y márgenes hídricas (Jarro, 2004; 2005) como *A. acuminata*, *A. parviflora*, *Xylosma spiculifera* (Tul.) Triana y Planch. (espino), *Duranta mutasii* L. f. (espino garbanzo) entre otras (Figura 7).



Figura 7. Barreras multiestrato en la ronda hídrica de la Q. Santiamén

Sobre los efectos observados con las estrategias implementadas. Se observó que las actividades de recuperación desarrolladas entre 2019 y 2020 mejoraron temporalmente la dinámica hidráulica de los cuerpos hídricos y aumentaron su atractivo escénico o paisajístico. Es posible que también hayan facilitado temporalmente la reducción de sólidos totales en suspensión y el aumento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua, condiciones favorables para la supervivencia de la ictiofauna del lugar, aunque estas condiciones no fueron corroboradas luego de las intervenciones.

Respecto al remanente de humedal, éste tiene un flujo constante de agua gracias a la Q. Santiamén por lo que la presión de propágulos de plantas colonizadoras es recurrente y sumado a la acumulación de macronutrientes

aportados por los vertimientos aguas arriba, el crecimiento exponencial de fitoplancton y de macrófitas y de las condiciones hipóxicas producto de su descomposición (Abella, J. y Martínez, M., 2012), no sólo limitan la oferta de recursos para la ictiofauna sino que además, dificultan la restitución del espejo de agua. Aunque se logró reconfigurar el litoral de este cuerpo léntico, la visibilidad de dicho espejo no se pudo mantener más de dos meses luego de la implementación de las estrategias y sin que en esto influyeran las condiciones climáticas (mayor precipitación en abril que en diciembre).

De acuerdo con Bastidas y Lemus (2014:58) y Lemus *et al.* (2020:11) este tipo intervenciones sobre los cauces, aunque pueden mejorar el flujo hídrico, implican modificaciones hidromorfológicas importantes y variaciones biofísicas que pueden incurrir en el deterioro y reducción de la oferta de hábitats, especialmente para *E. mutisii* de hábito bentónico; puede darse la pérdida de lechos lodosos producto de la sedimentación, un aumento de la temperatura del agua por encima de 20° C, y la fluctuación del pH, < 4 (aguas muy ácidas) y >11 (aguas muy alcalinas). Tal escenario se apreció en el área con la entrada del fenómeno del Niño durante el primer trimestre de 2020, el caudal de la quebrada se redujo drásticamente respecto al observado en meses anteriores y debido a la remoción de la vegetación emergente en varios de sus tramos, parte del lecho quedó expuesto a las altas radiaciones e inversiones térmicas (heladas) típicas de la época (Figura 8).



Figura 8. Cauce de la Q. Santiamén, inicios de 2020.

Por otro lado, la ocurrencia de heladas durante esos meses generó un fuerte estrés abiótico en el material vegetal implantado no sólo en las barreras multiestrato en la ronda hídrica de la quebrada sino en todos los demás arreglos florísticos dispuestos durante 2019, especialmente en el sector de PL. Este escenario fue agravado por la competencia ejercida por las gramíneas exóticas (tolerantes a estas condiciones adversas) y por la suspensión de las actividades en el área por varios meses de acuerdo con las medidas tomadas en el país por la emergencia sanitaria por COVID-19, impactando negativamente en el establecimiento de la vegetación (Muñoz, J., 2021).

Se observó también al igual que en el humedal, que, tras cuatro meses de interrupción de las actividades de manejo en el APIRE, la vegetación acuática emergente y los pastos recolonizaron el cauce con mayor vigor que al inicio de las intervenciones, comportamiento que se ha registrado con este tipo de plantas en otros ecosistemas acuáticos de la región (Díaz-Espinosa, A. M., Díaz-Triana, J. E., y Vargas, O., 2012).

Discusión

La mejora y mantenimiento de la calidad de los hábitats acuáticos en proyectos de restauración ecológica se ha empleado como una de las principales estrategias para la recuperación y conservación de poblaciones ícticas (Bellmore, J. R., Baxter, C. V., Ray, A. M., Denny, L., Tardy, K., y Galloway, E., 2012).

A su vez, en sistemas dulceacuícolas, los peces se han utilizado como especies emblemáticas para promover el uso sostenible y la conservación de los recursos hídricos (Ebner, B., Morgan, D., Kerezszy, A., Hardie, S., Beatty, S., Seymor, J., Donaldson, J., Linke, S., Stirling, P., Roberts, D., Espinoza, T., Marshall, N., Kroon, F., Burrows, D., y McAllister, R., 2016) ya que, además, funcionan como indicadores de la calidad del agua y de diversos niveles de degradación (Pander, J. y Geist, J., 2013), y en términos poblacionales permiten estimar el éxito de estos proyectos (Lyon J., Bird, T., Kearns, J., Nicol, S., Tonkin, Z., Todd, C., O'Mahony, J., Hackett, G., Raymond, S., Lieschke, J., Kitchingman, A. y Bradshaw, C., 2019).

En ecosistemas altamente disturbados como los de la Hacienda Yerbabuena, la presencia de peces endémicos como el pez capitán de la sabana (*E. mutisii*) y *G. bogotensis* (guapucha) supondría un indicador de

la buena salud de los cuerpos hídricos, pero lo cierto es que el primero logra tolerar aguas con bajas concentraciones de oxígeno pues posee respiración facultativa logrando soportar escenarios adversos (Bastidas y Lemus, 2014), y el segundo por su dieta, está asociada a cuerpos de agua con abundancia de macrófitas (Roa *et al.*, 2013). Aun así, estas especies ícticas no habían sido registradas con antelación en condiciones silvestres ni para el predio ni para la vereda Yerbabuena (SiB Colombia, 2023), por lo que su supervivencia resalta el potencial biótico del área para su rehabilitación ecológica (Salamanca y Camargo, 2000; Muñoz, 2019b).

Se puso en marcha un conjunto de estrategias de rehabilitación ecológica activa buscando en una fase inicial, el mejoramiento de la calidad del hábitat del pez capitán de la sabana y de la guapucha en la Q. Santiamén y en el remanente de humedal en el APIRE de la Hacienda Yerbabuena, en Chía-Cundinamarca. Tal y como ha ocurrido en diferentes ecosistemas acuáticos de la región, muchas de estas intervenciones han buscado principalmente remover la sobrepoblación de macrófitas, ya que, en combinación con otros factores antrópicos, son las responsables de la baja calidad del agua por la alta carga orgánica y por la retención de contaminantes que se pueden dispersar o concentrar, dependiendo de la dinámica hidráulica y de la extensión del cuerpo hídrico (Lemus *et al.*, 2020). De igual forma, la rehabilitación en sistemas lóticos, generalmente se da en un solo tramo o en tramos distribuidos a lo largo de la cuenca, incluyendo actividades en la ronda hídrica y en la parte alta en su nacimiento o aguas abajo en su desembocadura (Roni, P., Hanson, K., y Beechie, T., 2008), y esto último fue precisamente lo que ocurrió en el área de estudio.

En este tipo de procesos, se debe contemplar la restitución y conservación de la vegetación riparia puesto que no sólo reduce la temperatura del agua por la sombra generada, sino que el material leñoso caído aumenta la complejidad estructural del cauce (en el caso de ríos y quebradas) y favorece la creación de nuevos hábitats para la fauna (Swanson, S., Kozlowski, D., Hall, R., Heggem, D., y Lin, J., 2017). En el humedal, gran parte de los individuos implantados tanto en la barrera multiestrato como en los núcleos de biodiversidad en la franja terrestre se establecieron adecuadamente al término de las intervenciones, esto gracias a la vegetación arbórea preexistente que

facilitaron unas condiciones microclimáticas favorables para ello (Aguilar *et al.*, 2018).

Caso contrario con lo ocurrido en el borde de la Q. Santiamén, en donde sólo los individuos de *A. acuminata* lograron adaptarse luego de las condiciones adversas del 2020 (Muñoz, 2021). En este sentido y pese a que la plantación de material vegetal suele ser la estrategia más utilizada en este tipo de iniciativas, estos resultados evidenciaron que se requiere combinar con diversos tratamientos para asegurar su éxito a largo plazo, como el mejoramiento de las condiciones edafológicas, la expresión del banco de semillas, manejo de especies pioneras con altos requerimientos lumínicos entre otras (Bejarano, P., y Sguerra, S., 2014).

Sumado a lo anterior, en muchos casos las respuestas de las condiciones internas del cuerpo hídrico y la biota a varios tratamientos de recuperación a menudo están influenciadas por las condiciones ecológicas aguas arriba y a menudo es difícil distinguir entre el fracaso de una estrategia en particular y el desconocimiento de procesos ecosistémicos y socioambientales más amplios durante la implementación de estos proyectos (Hermoso, V., Pantus, F., Olley, J. O. N., Linke, S., Mugodo, J., y Lea, P., 2011). En este sentido, es importante abordar los principales conflictos relacionados con la calidad del agua y la hidrología de estos sistemas antes de considerar otras acciones para asegurar la calidad de los hábitats de las comunidades acuáticas (Roni *et al.*, 2008).

En el caso del APIRE la Hacienda Yerbabuena, la rápida recolonización de la vegetación acuática y emergente en los cuerpos hídricos intervenidos ponen en evidencia que mientras no se resuelvan los vertimientos de aguas servidas en la cuenca alta y media de la Q. Santiamén, las condiciones fisicoquímicas y biológicas no mejorarán para la conservación y mantenimiento de las poblaciones de las especies ícticas allí presentes. Teniendo en cuenta el Programa Nacional para la Conservación (Lemus *et al.*, 2017) y el Plan de Manejo y Conservación para la jurisdicción CAR del pez capitán de la sabana (Rojas, J., Echavarria, M., y Lemus-Portillo, C., 2018) se puede impulsar a este silúrido como una especie bandera para la sensibilización sobre la importancia ecológica de este tipo de fauna con los diferentes actores públicos y privados

con influencia en la quebrada y poder establecer estrategias a mediano y largo plazo para su descontaminación y gestión ambiental. De este modo, para la recuperación de sistemas acuáticos se requiere de la identificación de los gradientes ambientales y de las amenazas directas que sobre éstos influyen, así como de la selección de indicadores adecuados para evaluar la calidad del hábitat antes, durante y después de las acciones implementadas (Hughes, S. J., Santos, J., Ferreira, T., y Mendes, A., 2010).

El índice de idoneidad del hábitat (HSI, por sus siglas en inglés) se ha utilizado para la selección e implementación de estrategias para el manejo de vida silvestre (Prieto-Cruz A., Montenegro O. L., Rudas A., Rodríguez J. y Aguirre J., 2016). Este índice que varía de 0 a 1 permite cuantificar la calidad del hábitat de una especie a través de la evaluación de las variables bióticas y abióticas que influyen en el establecimiento de una población según sus necesidades de refugio, alimento y reproducción, y en función de esto, medir el grado de preferencia de la especie por diversos hábitats (Zhao, C. S., Yang, S. T., Xiang, H., Liu, C. M., Zhang, H. T., Yang, Z. L., y Lim, R. P., 2015; Prieto-Cruz et al., 2016).

Son escasos los HSI que se han elaborado para peces dulceacuícolas en los Andes (Vélez-Espino, L. A., 2006), y hasta donde se sabe, no existen este tipo de modelos publicados para las especies presentes en la Hacienda Yerbabuena, por lo que su diseño podría ser un punto de partida para replantear las actividades de rehabilitación ecológica más eficientes para su conservación teniendo en cuenta los resultados obtenidos con las acciones descritas en este reporte de caso.

Así mismo, es importante contemplar la identificación y control de otros organismos que puedan interferir con el establecimiento de las poblaciones de la especie y cuya calidad de hábitat se pretende mejorar o mantener. En este caso, sólo se registraron individuos de la langostilla (*P. clarkii*) en el remanente de humedal sugiriendo que su presencia en el área de estudio se restringe a dicho sector, esto debido posiblemente a que se ha documentado que este decápodo tiene preferencia por hábitats con vegetación flotante dominada por *P. crassipes* (Camacho, R. F., Duarte, I., y Altamiranda, M., 2021).

Esto podría facilitar el diseño y puesta en marcha de acciones para su contención temprana, teniendo en cuenta, además, que ya existe valiosa información publicada sobre su comportamiento en varios ecosistemas colombianos (Flórez- Brand y Espinosa, 2011; Arias y Pedroza, 2018; Camacho et al., 2021) y que la región dispone de un plan de manejo y control para la especie que podría servir como ruta de navegación en el proceso (CAR, 2016).

En este tipo de iniciativas en el marco de proyectos de rehabilitación ecológica también es importante evaluar los cambios ocurridos en el hábitat de las especies objeto de estudio, esto mediante el monitoreo de variables respuesta con una periodicidad y plazos definidos (Vargas *et al.*, 2012; Aguilar, M. y Ramírez, W., 2015), lo que puede no sólo proporcionar información sobre el comportamiento de los organismos y del área a las estrategias implementadas sino además, evidenciar falencias en el proceso para estructurar acciones de mejora (Aguilar y Ramírez, 2015; Vallejo, M. I., y Gómez, D. I., 2016). Si bien, ya existe un esquema de monitoreo general para el área contemplado en el plan de rehabilitación ecológica (Muñoz, 2019a), no se contemplaron indicadores, cuantificadores o métodos específicos para al seguimiento y evaluación de la efectividad de las intervenciones realizadas en la Q. Santiamén y en el remanente de humedal respecto al mejoramiento de la calidad del hábitat de la ictiofauna nativa.

Con la información disponible a la fecha sobre los peces tratados y con lo observado en este reporte de caso, tal esquema de monitoreo se puede diseñar siguiendo los planteamientos propuestos por Aguilar y Ramírez (2015) y Vallejo y Gómez (2016). Del mismo modo, además de monitorear periódicamente la calidad biofísica y biológica del agua (en tiempo de lluvias respecto a periodos más secos) y antes y después de alguna intervención directa sobre el cauce, con la misma periodicidad se pueden realizar muestreos de las especies en diferentes puntos de la quebrada y en el humedal para examinar su abundancia, estructura poblacional y algunos aspectos morfológicos que permitan evaluar su estado de conservación en la Hacienda Yerbabuena y retroalimentar las estrategias para el mejoramiento de la calidad de su hábitat (Roa *et al.*, 2013; Lemus-Portillo *et al.*, 2020).

Conclusiones

La presencia de ictiofauna endémica en zonas como la Hacienda Yerbabuena evidencia la importancia de incluir la conservación del hábitat de fauna silvestre como eje articulador de la gestión y planificación territorial y, por supuesto, como uno de los principales objetivos en las iniciativas de restauración ecológica de áreas degradadas adelantadas por diferentes organizaciones y entidades de la región, como el Jardín Botánico de Bogotá.

Este reporte de caso mostró las implicaciones de algunas acciones propuestas para el mejoramiento de la calidad del hábitat de peces dulceacuícolas en el marco de un proyecto de rehabilitación ecológica en la sabana de Bogotá. Los resultados sugieren que se deben considerar factores socioeconómicos y ecosistémicos a una escala de trabajo mayor para garantizar unas condiciones ambientales adecuadas en los cuerpos de agua para la supervivencia de las especies ícticas, y que para el establecimiento de una cobertura vegetal protectora en la ronda hídrica no basta con la plantación de individuos vegetales, sino que es necesario combinar diferentes estrategias de restauración tanto activa como pasiva.

De igual forma, es importante no sólo para la evaluación de la efectividad de las estrategias que se implementen sino también para diseñar acciones de mejora, que se formulen indicadores, cuantificadores y métodos de muestro acordes con la ecología de las especies, siendo en este caso el índice de idoneidad del hábitat (HSI) uno de los modelos que se podrían ajustar a las necesidades del área. Aun así, con la información disponible sobre los peces tratados y con los resultados aquí presentados, se puede trazar un esquema de monitoreo que permita conocer el estado de conservación de sus poblaciones en la zona y si este tipo de intervenciones pueden aportar o no al mejoramiento de la calidad de su hábitat

Agradecimientos

El proyecto de rehabilitación ecológica fue desarrollado y financiado a través del Convenio Interadministrativo ICC 194-2018/JBB 004-2018 suscrito entre el Instituto Caro y Cuervo y el Jardín Botánico de Bogotá. El autor agradece a los biólogos John Bernal del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y a Andrés del Risco del Jardín Botánico de Bogotá por el apoyo en la identificación taxonómica de las especies ícticas.

Literatura citada

- Abella, J. y Martínez, M. (2012). Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del Lago de Tota (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Química*, 41 (2), 243-261. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309028756006>
- Aguilar, M. y Ramírez, W. (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Aguilar, M., Estupiñán, L., Rojas, S., Isaacs, P., Jurado, R., Londoño, M. y Arias, S. (2018). Guía para la restauración ecológica de la región Subandina. Caso: Distrito de Conservación de Suelos Barbas-Bremen. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Arias, J., y Pedroza, D. (2018). Presencia del cangrejo rojo *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) en la sabana de Bogotá, Colombia. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA)*, 62, 283-286. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/326197785_Presencia_del_cangrejo_rojo_Procambarus_clarkii_Girard_1852_en_la_sabana_de_Bogota_Colombia.
- Bastidas, J., y Lemus, C. (2014). Aporte al Conocimiento de la Biología y Ecología del Pez Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*). Humboldt 1805. (Pisces: Trichomycteridae) en el Altiplano Cundiboyacense. Bogotá, D.C.: Corporación Universitaria de Ciencia y Desarrollo (Uniciencia).
- Bejarano, P., y Sguerra, S. (2014). Propuesta de un modelo de intervención para la recuperación integral de las quebradas en Bogotá. En: Bejarano, P. (Ed). *Historia ambiental y recuperación integral de los territorios asociados a quebradas y ríos en Bogotá (caso Chapinero)*. (pp.224- 273). Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Local de Chapinero y Conservación Internacional Colombia.
- Bellmore, J. R., Baxter, C. V., Ray, A. M., Denny, L., Tardy, K., y Galloway, E. (2012). Assessing the potential for salmon recovery via floodplain restoration: a multitrophic level comparison of dredge-mined to reference segments. *Environmental management*, 49, 734-750. doi: <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9813-x>
- Camacho, R. F., Duarte, I., y Altamiranda, M. (2021). Areas at risk of invasion by *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae) a crayfish introduced in Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 77-89. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.41493>

- Cárdenas-López, D., Baptiste, M.P. y Castaño, N. (Eds). (2017). Plantas exóticas con alto potencial de invasión en Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. (2016). Plan de Prevención, Control y Manejo (PPCM) del Cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. Bogotá: Autor.
- Díaz-Espinosa, A. M., Díaz-Triana, J. E., y 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.
- Ebner, B., Morgan, D., Kerezszy, A., Hardie, S., Beatty, S., Seymor, J., Donaldson, J., Linke, S., Stirling, P., Roberts, D., Espinoza, T., Marshall, N., Kroon, F., Burrows, D., y McAllister, R. (2016). Enhancing conservation of Australian freshwater ecosystems: identification of freshwater flagship fishes and relevant target audiences. *Fish and Fisheries*, 17, 1134-1151. doi: 10.1111/faf.12161
- Flórez-Brand, P., y Espinosa, J. (2011). Presencia y dispersión del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) en el departamento del Valle del
- Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 12(2). Recuperado de: <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/252>
- Gallini, S., Felacio, L., Agredo, A., y Garcés, S. (2014). Las corrientes de la ciudad: Una historia del agua en la Bogotá del siglo XX. *Environment y Society Portal, Virtual Exhibitions 2014*, no. 3. doi: <https://doi.org/10.5282/rcc/7488>
- Hall, L. S., Krausman, P. R., y Morrison, M. L. (1997). The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife society bulletin*, 173-182. doi: <https://www.jstor.org/stable/3783301>
- Hermoso, V., Pantus, F., Olley, J. O. N., Linke, S., Mugodo, J., y Lea, P. (2012). Systematic planning for river rehabilitation: integrating multiple ecological and economic objectives in complex decisions. *Freshwater Biology*, 57(1), 1-9. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2011.02693.x>
- Hernández-Schmidt, M. (2016). Historia del uso y del conocimiento de la flora y de las especies típicas de la Sabana de Bogotá y sus antiguas haciendas. Contrato No.: 16-16-127-237PS). [Informe técnico] Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos

Biológicos Alexander von Humboldt.

- Hughes, S. J., Santos, J., Ferreira, T., y Mendes, A. (2010). Evaluating the response of biological assemblages as potential indicators for restoration measures in an intermittent Mediterranean river. *Environmental management*, 46, 285-301. doi: <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9521-3>
- Jarro, C. (2004). Guía técnica para la restauración de áreas de ronda y nacederos del Distrito Capital. Bogotá: Departamento Administrativo del Medio Ambiente – DAMA.
- Jarro, C. (2005). Guía técnica para la restauración ecológica de áreas afectadas por la expansión agropecuaria en el Distrito Capital. Bogotá: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.
- Lemus, C., Echavarría, M., Avella, C., López, W., Useche, P. y Mojica, I. (2017). Programa nacional para la conservación de la especie endémica de Colombia pez capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*). Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Secretaría Distrital de Ambiente, Universidad Manuela Beltrán.
- Lemus, C., Echavarría, M., Rojas, J., Álvarez, J., León, K., Aguilar, S. y Maldonado, J. (2020). Estado de conservación y distribución del pez de agua dulce capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*) en Cundinamarca, Colombia. *Actualidad Biológica*, 42 (112), 1-14. doi: 10.17533/udea.acbi.v42n112a02
- Lengyel, S., Mester, B., Szabolcs, M., Szepesváry, C., Szabó, G., Polyák, L., ... y Aradi, C. (2020). Restoration for variability: Emergence of the habitat diversity paradigm in terrestrial ecosystem restoration. *Restoration Ecology*, 28(5), 1087-1099. doi: <https://doi.org/10.1111/rec.13218>
- Lyon J., Bird, T., Kearns, J., Nicol, S., Tonkin, Z., Todd, C., O'Mahony, J., Hackett, G., Raymond, S., Lieschke, J., Kitchingman, A. y Bradshaw, C. (2019). Increased population size of fish in a lowland river following restoration of structural habitat. *Ecological Applications*, 29 (4): e01882. doi: 10.1002/eap.1882
- Maldonado-Ocampo, J., Ortega, A., Usma, J., Galvis, G., Villa, F., Vásquez, L., Prada, S. y Ardila, C. (2005). Peces de los Andes de Colombia. Guía de campo. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Martin, D. M. (2017). Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century. *Restoration Ecology*, 25(5), 668-673. doi: <https://doi.org/10.1111/rec.12554>
- McDonald, T., Gann, G. D., Jonson, J., y Dixon, K. W. (2016) International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts.

- Society for Ecological Restoration, Washington, D.C. https://cieem.net/wp-content/uploads/2019/07/SER_Standards_2016.pdf
- Mesa, L., Alonso, J. C. y Mojica, J. (2016). *Eremophilus mutisii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T7999A61472460. doi: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T7999A61472460>.
- Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. (2018). Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia. Bogotá: Autor.
- Mojica, J., Usma, J., Álvarez, R. y Lasso, C. (Eds.) (2012). Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia, Universidad de Manizales.
- Molina-Prieto, L. F., y Acosta-Hernández, C. F. (2018). Orígenes y evolución de las arborizaciones urbanas en América Latina con énfasis en Bogotá y Medellín. *Formas urbanas colonial, republicana y protomoderna. Gestión y Ambiente*, 21(2), 276-290. doi: <https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.74906>
- Murcia, C., y Guariguata, M. (2014). La restauración ecológica en Colombia: Estado actual, tendencias, necesidades y oportunidades. Centro para la Investigación Forestal (CIFOR). Documentos ocasionales 107. doi: <https://doi.org/10.17528/cifor/004519>
- Muñoz, J. (2019a). Plan de rehabilitación ecológica para el APIRE Hacienda Yerbabuena. CTO- JBB-183-2019. [Documento Técnico]. Bogotá D.C.: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.
- Muñoz, J. (2019b). Componente ecológico de la dimensión ambiental para el Plan Especial de Manejo y Protección de la Hacienda Yerbabuena. CTO-JBB-183-2019. [Documento técnico]. Bogotá D.C.: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.
- Muñoz, J. (2021). Recomendaciones de manejo adaptativo con fines de restauración ecológica para el APIRE Hacienda Yerbabuena. CTO-JBB-037-2021. [Documento Técnico]. Bogotá D.C.: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.
- Pander, J. y Geist, J. (2013). Ecological indicators for stream restoration success. *Ecological Indicators*, 30: 106-118. doi: 10.1016/j.ecolind.2013.01.039
- Prieto-Cruz A., Montenegro O. L., Rudas A., Rodríguez J. y Aguirre J. (Eds) (2016). Áreas propuestas para las actividades de reubicación de la fauna silvestre que será afectada por las actividades constructivas y de adecuación del vaso del embalse del

- proyecto hidroeléctrico Ituango (Antioquia, Colombia). Evaluación del hábitat y recomendaciones de manejo para especies selectas. Serie de Guías del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia No. 17. Bogotá D.C.: Empresas Públicas de Medellín y Universidad Nacional de Colombia.
- Roa, C., Prada, S., Álvarez, R., Rivera, C., y Maldonado-Ocampo, J. (2013). Abundancia relativa y dieta de *Grundulus bogotensis* (Characiformes: Characidae) en el altiplano Cundiboyacense, Colombia. *Universitas Scientiarum*, 18, 73–82. doi: <https://doi.org/10.11144/javeriana.SC18-1.ardg>
- Rodríguez, I. (2022). Investigación de restauración ecológica en bosques Andinos Colombianos: un análisis bibliométrico y vacíos de información. *Actualidades Biológicas*, 44(117), 1-18. doi: [10.17533/udea.acbi.v44n117a02](https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v44n117a02)
- Rojas, J., Echavarría, M., y Lemus-Portillo, C. (2018). Plan de manejo y conservación de la especie (*Eremophilus mutisii*) para la jurisdicción CAR. Bogotá D.C.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y Universidad Manuela Beltrán
- Roni, P., Hanson, K., y Beechie, T. (2008). Global review of the physical and biological effectiveness of stream habitat rehabilitation techniques. *North American Journal of Fisheries Management*, 28(3), 856-890. doi: <https://doi.org/10.1577/M06-169.1>
- Salamanca, B., y Camargo, G. (2000). Protocolo Distrital de Restauración Ecológica. Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá. Bogotá: Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA y Fundación Estación Biológica Bachaqueros.
- Secretaría Distrital de Planeación – SDP (2018). Estudios de soporte requeridos para la solicitud de realinderamiento, recategorización y sustracción para la Reserva Forestal Productora Regional Thomas van der Hammen en contexto con la UPR norte y con la red de paisaje circundante [Documento técnico]. Bogotá: Autor.
- SiB Colombia (2023). Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia. Recuperado de: <https://biodiversidad.co/>
- Swanson, S., Kozłowski, D., Hall, R., Heggem, D., y Lin, J. (2017). Riparian proper functioning condition assessment to improve watershed management for water quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72(2), 168-182. doi: <https://doi.org/10.2489/jswc.72.2.168>
- Vallejo, M. I., y Gómez, D. I. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47. Recuperado de: <http://revistas.>

humboldt.org.co/index.php/BEP/article/download/426/436

van der Hammen, T., Stiles, F., Rosselli, L., Chisacá, M., Camargo, G., Guillot, G. y Rivera, D. (2008). Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Bogotá, D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente.

Vargas, O., Díaz, J., Reyes, S., y Gómez, P. (2012). Guías técnicas para la restauración ecológica de ecosistemas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN)

Vélez-Espino, L. A. (2006). Distribution and habitat suitability index model for the Andean catfish *Astroblepus ubidiai* (Pisces: Siluriformes) in Ecuador. *Revista de biología tropical*, 54(2), 623-638. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v54n2/3849.pdf>

Zhao, C. S., Yang, S. T., Xiang, H., Liu, C. M., Zhang, H. T., Yang, Z. L., y Lim, R. P. (2015).

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de la Hacienda Yerbabuena y área piloto de investigación en restauración ecológica (APIRE).

Figura 2. Zonificación del APIRE: a) y b) Estado Q. Santiamén a mediados 2019; c) y d) Remanente de humedal a mediados de 2019; e) y f) Zona de amortiguamiento humedal; g) y h) sector de Pastos limpios.

Figura 3. Especies de estudio: a) y b) *Eremophilus mutisii*; c) y d) *Grundulus bogotensis*.

Figura 4. Estrategias implementadas en el remanente de humedal: a) intervenciones en el espejo de agua en abril de 2019; b) intervenciones en diciembre de 2019; c) y d) núcleos de vegetación establecidos en ZAH.

Figura 5. Ejemplar de *Procambarus clarkii* en el remanente de humedal (2019).

Figura 6. Estrategias implementadas Q. Santiamén: a), b) y c) intervenciones durante 2019; d) y e) intervenciones durante 2020.

Figura 7. Barreras multiestrato en la ronda hídrica de la Q. Santiamén

Figura 8. Cauce de la Q. Santiamén, inicios de 2020.