

Propuesta de
***Protocolo para la estimación integral de contenidos
de carbono y biodiversidad en humedales del
Magdalena Medio y Bajo***

**Anexo 5. Análisis de la biodiversidad como
estrategia complementaria a la estimación de contenidos de carbono
y al diseño de iniciativas de conservación del ecosistema, mitigación
y adaptación al cambio climático en el Complejo Cenagoso de
Zapatoza**

**Mónica Tatiana López-Muñoz
Profesional de Biodiversidad**



Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo

Ecopetrol S.A	Mónica Tatiana López-Muñoz Profesional de biodiversidad	Edición
Santiago Martínez Ochoa Xiomara Sanclemente Manrique Lorena Ortiz Melo Maria Juliana Salcedo Hernández Adriana Velandia Valero Jorge Gaviria Chicuasuke Apoyo técnico y Administrativo del Convenio Específico No. 3044288	Lina María Parada Alzate Profesional SIG agua y biodiversidad	Danyth Janneth Fandiño Lerma Líder de comunicaciones CO2 Humedales
Fundación Natura Colombia	Jhenny Liliana Salgado Vásquez Profesional estadístico y gestión de la información	Diego Alejandro Quintero Candela Lina Daniela Mutis Prado Diseño gráfico
Clara Ligia Solano Gutiérrez Directora ejecutiva	Luis Alfredo Moreno-Pérez Profesional de apoyo local	Andrea Julieth Castellanos Leal Diagramación
Nancy Vargas Tovar Subdirectora técnica	Patricia Téllez Guio Sidney Adriano Pérez Villegas Profesionales SIG Datos de Actividad	Claudia Campos Rozo Corrección de estilo
Lorena Franco Vidal Subdirectora técnica	Colaboradores técnicos	Alejandro Peña García José Manuel Pantoja Surmay Fotografías
Sandra Galán Subdirectora técnica	José Andrés Posada-García Nathalie Morales García Javier Sunyer MacLennan Liliana Ospina Calle Carolina Bustamante-Gil Osvar Cupitra Gómez Santiago Cañón Escobar Profesionales de campo y análisis	Cítese como:
Mauricio Rosas Hurtado Jefe financiero y contable	Michelle Hernández Fernández Cristhian Alfonso Pimiento Ordóñez Luz Patricia Hernández Arango Sandra Milena Palacio Taborda Nicolas Romero-Peña Profesionales Fundación Natura de apoyo en el proceso de formulación e implementación	Andramunio-Acero, C., Rondón- Martínez, Y., García-Murcia, Y., Mendoza, Y., López-Muñoz, M., Parada, L., Salgado, J., Moreno-Pérez, L., Téllez, P. y Pérez, S. (2024). Propuesta de <i>Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo</i> . Fundación Natura Colombia, Ecopetrol S. A.
Andrea Gutiérrez de Piñeres Jefe administrativa y de gestión humana	Colaboradores locales	ISBN digital: en trámite
Eliana Marcela Garzón Fierro Jefe de comunicaciones	Francisco Villalobos Ríos Danilson Segovia Zambrano Rodolfo Segovia Daza Vicente Buitrago Segovia Deibis Armando Martínez Martínez Omaida Rangel Rangel Genaro Madrid Álvarez Alvenis Carpio Castro Elvin Dewin Cabarcas Monterrosa Jorge Adolfo Rangel Piñeres Jaider Guerra Guillen Celso Moreno Mejía Fabio Moreno Mejía Omar Antonio Morales Hurtado Teobaldo Cervantes Cadena Edilso Iglesia Machado	Aviso legal © Fundación Natura Colombia Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión del contenido de este documento para fines educativos u otros fines no comerciales, con previa autorización de los titulares de los derechos de autor y citando la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.
Autores Equipo técnico CO₂ Humedales		Esta publicación se realizó en el marco del Proyecto CO ₂ Humedales, Convenio Específico No. 3044288 entre Fundación Natura Colombia y Ecopetrol S.A.
Claudia Patricia Andramunio-Acero Profesional monitoreo de carbono Líder técnica del protocolo		
Yesid Fernando Rondón-Martínez Profesional de apoyo transversal		
Yennifer García-Murcia Profesional de biomasa y materia orgánica muerta		
Yenny Beatriz Mendoza Plazas Profesional de suelos y sedimentos		

INTRODUCCIÓN

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), las decisiones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Convenio de Diversidad Biológica (CDB) enfatizan que la conservación y la restauración de los hábitats deben contribuir tanto a la mitigación del cambio climático como a la conservación de la biodiversidad (Jung et al., 2021). Por tanto, es necesario contar con herramientas fiables capaces de medir su variación en el espacio y en el tiempo (aplicadas bajo estándares soportados científicamente) y utilizar la mayor cantidad de información biológica y de variedad de organismos posibles (Moreno, 2001).

Este documento resume los resultados del compartimiento de biodiversidad para los grupos priorizados en el piloto de validación de la propuesta de *Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo*¹ (Andramunio et al., 2024), realizado en el Complejo Cenagoso de Zapatosa (CCZ), en marzo y entre septiembre y octubre del año 2023. Dichos grupos son fitoplancton, ficoperifiton, zooplancton, macroinvertebrados acuáticos (asociados a plantas y bentónicos), peces, macrófitas acuáticas, aves, anfibios y reptiles (herpetos), mamíferos y vegetación arbórea inundable. La descripción de los sectores de muestreo en los que se analizaron estos grupos se encuentra en el Anexo 1.

CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA BASE DE LA BIODIVERSIDAD DEL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA

COMPOSICIÓN TAXONÓMICA

Para la mayoría de los grupos bióticos analizados se registró, al menos, el 50 % de la diversidad previamente reportada en el área de estudio (en algunos casos más del 100 %), lo que indica una alta representatividad de la biodiversidad del CCZ² (Tabla 1).

¹ De aquí en adelante, este documento se nombra como propuesta de Protocolo.

² La información completa se encuentra en las bases de datos del proyecto y está estructurada en un repositorio virtual. Para una consulta más detallada, se recomienda realizar la solicitud oficial directamente a la Fundación Natura.

Tabla 1. Riqueza total registrada para cada grupo biótico analizado. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosa. Fuente: elaboración propia (2024).

Grupo biótico	Especies (morfoespecies o taxones) registradas durante el piloto	Riqueza total registrada en el CCZ y porcentaje representado en este estudio
Fitoplancton	83 taxones (98 % a nivel de género) 7 nuevos registros para el CCZ (2 a nivel de especie)	128 géneros (65 %)
Ficoperifiton	84 taxones (95 % a nivel de género) 6 nuevos registros para el ficoperifiton del CCZ	116 géneros (72 %)
Zooplancton	56 morfoespecies (86 % a nivel de especie) 3 nuevos géneros para el CCZ	78 géneros (53 %)
Macroinvertebrados acuáticos asociados	113 taxones (67 % a nivel de género) 27 taxones (36 morfotipos) nuevos para el CCZ	177 géneros (64 %)
Macroinvertebrados acuáticos bentónicos	29 taxones (50 % a nivel de género) 7 taxones nuevos para el CCZ	22 taxones (132 %)
Peces	39 especies	40 especies (98 %)
Macrófitas acuáticas	56 especies 31 especies nuevas para el CCZ	66 especies (84 %)
Aves	236 especies 34 especies nuevas para el CCZ	202 especies (117 %)
Herpetos (anfibios y reptiles)	54 especies 2 especies nuevas para el CCZ	86 especies (63 %)
Mamíferos	43 especies 13 especies nuevas para el CCZ	43 especies (100 %)
Vegetación arbórea inundable	43 especies de árboles 4 especies de palmas	241 especies de árboles (18 %) 8 especies de palmas (50 %)

Fuente: elaboración propia (2024).

ESTRUCTURA COMUNITARIA

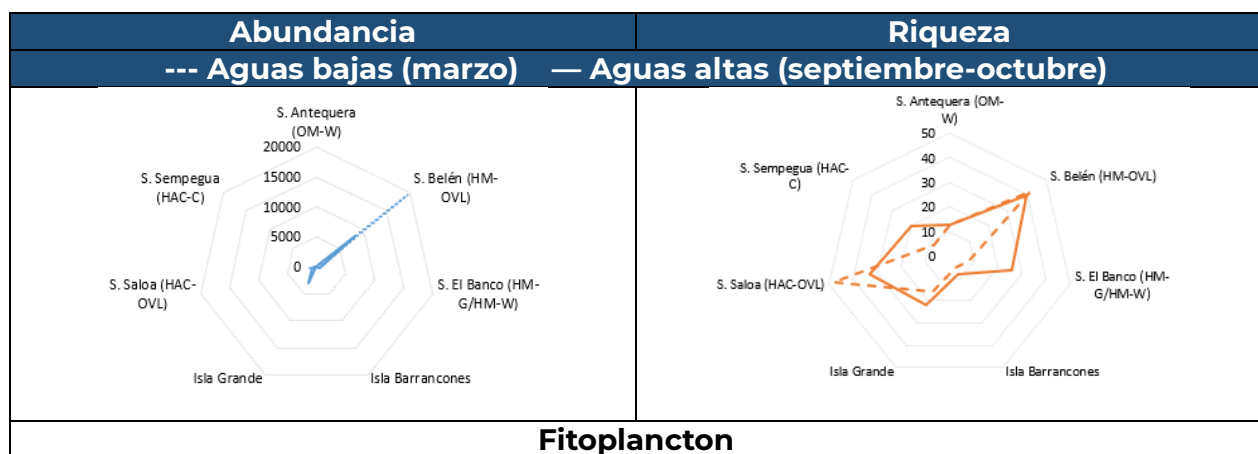
Los resultados de abundancia, riqueza taxonómica (Figura 1) y de los índices de diversidad, equidad y dominancia obtenidos para la hidrobiota reflejaron condiciones más favorables para el desarrollo de comunidades acuáticas

estructuradas y de alta funcionalidad ecológica en los sectores Antequera (OM-W), Belén-Bijagual (HM-OVL) y Saloa (HAC-OVL), que ocupan las zonas sur, oeste y noreste del CCZ, respectivamente.

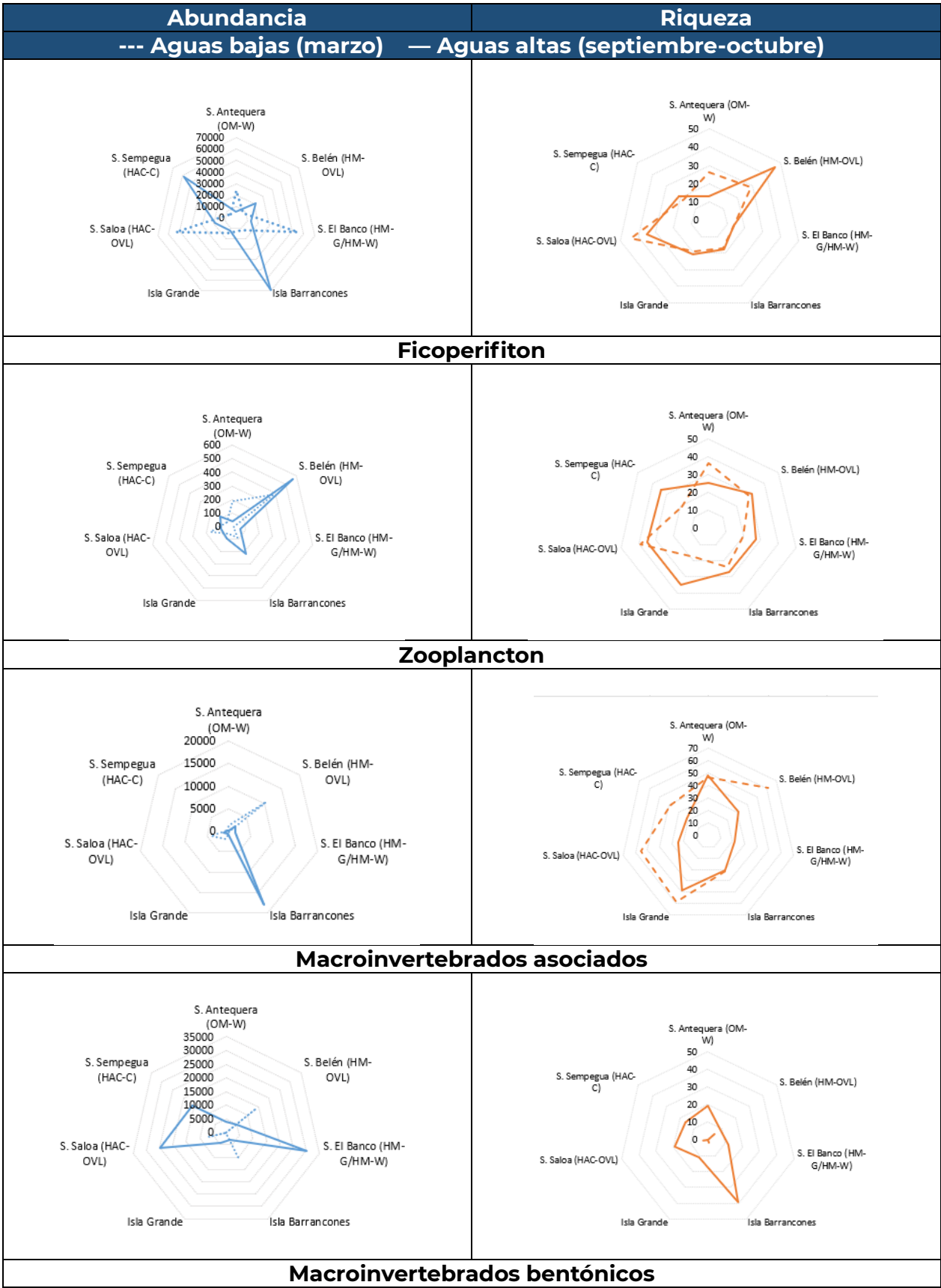
De forma similar, en cuanto a la fauna terrestre, dichos resultados indicaron condiciones ecológicas más propicias para su establecimiento en las coberturas Otra vegetación leñosa (OVL), Forestal (F) y Pastizal (G). Cabe resaltar que, entre los sitios de muestreo que conformaron cada una de estas coberturas (12 en total), ocho (8) se ubican en el corredor este (de norte a sur) del CCZ.

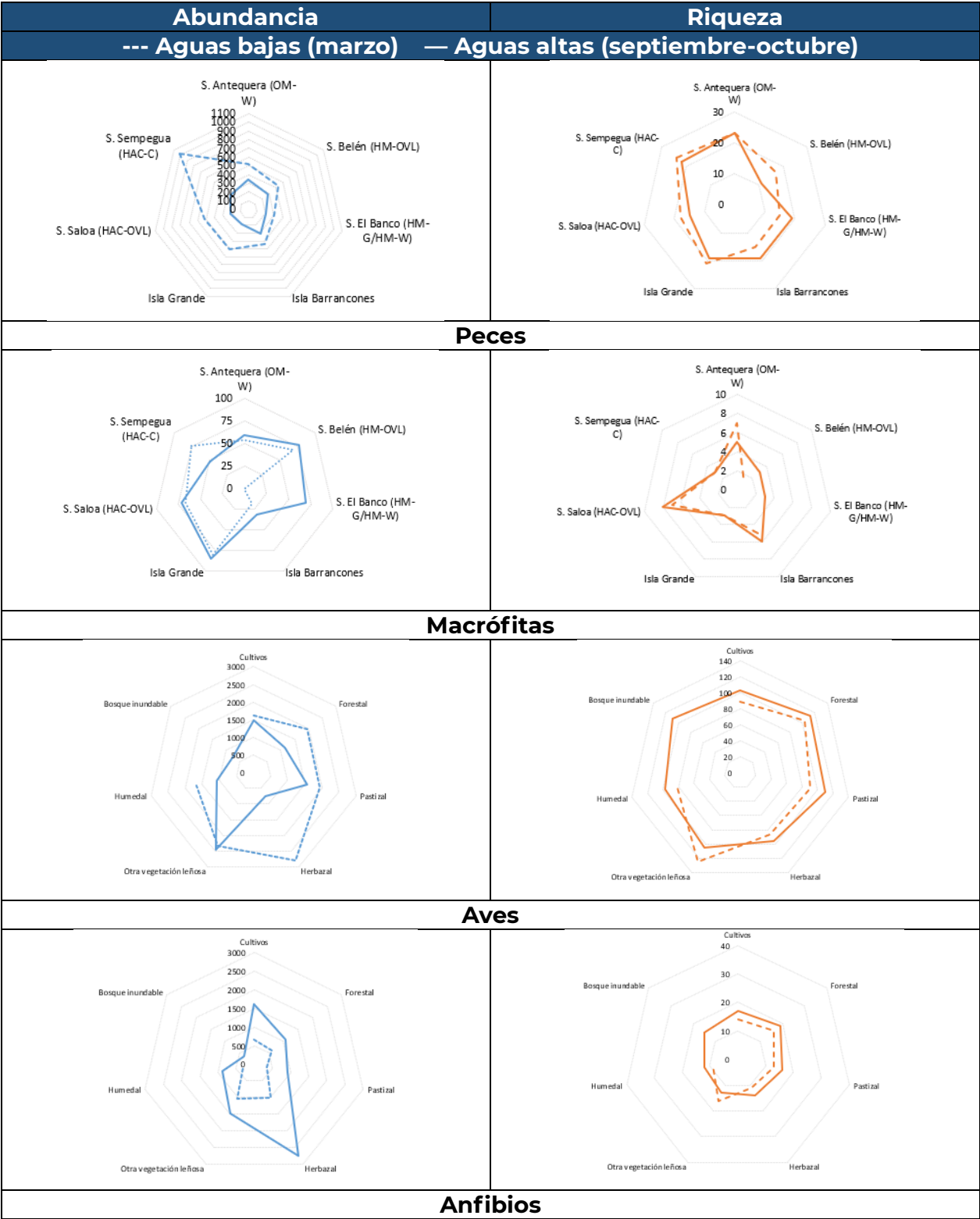
En cuanto a la vegetación arbórea inundable, la estructura comunitaria reflejó mejores resultados en siete (7) sectores, de los cuales cuatro (4) se encuentran en el norte, dos (2) en el sureste y uno en el oeste del CCZ.

Entre temporadas de muestreo se observaron diferencias notorias en la abundancia de gran parte de los grupos: los valores de abundancia de los peces y las aves son mayores durante el periodo de aguas bajas (marzo de 2023), mientras que en aguas altas (septiembre-octubre de 2023) los valores más elevados fueron los del zooplancton, los dos grupos de macroinvertebrados, las macrófitas y la herpetofauna. En cuanto a los índices de riqueza y diversidad³, las diferencias fueron menos contundentes para gran parte de la biota, especialmente para los macroinvertebrados bentónicos, las macrófitas y los reptiles; los dos primeros grupos presentaron mayores valores en aguas altas y el tercero, en aguas bajas (Figura 1).



³ La información completa se encuentra en las bases de datos del proyecto, que está estructurada en un repositorio virtual. Para una consulta más detallada, se recomienda realizar la solicitud oficial directamente a la Fundación Natura.





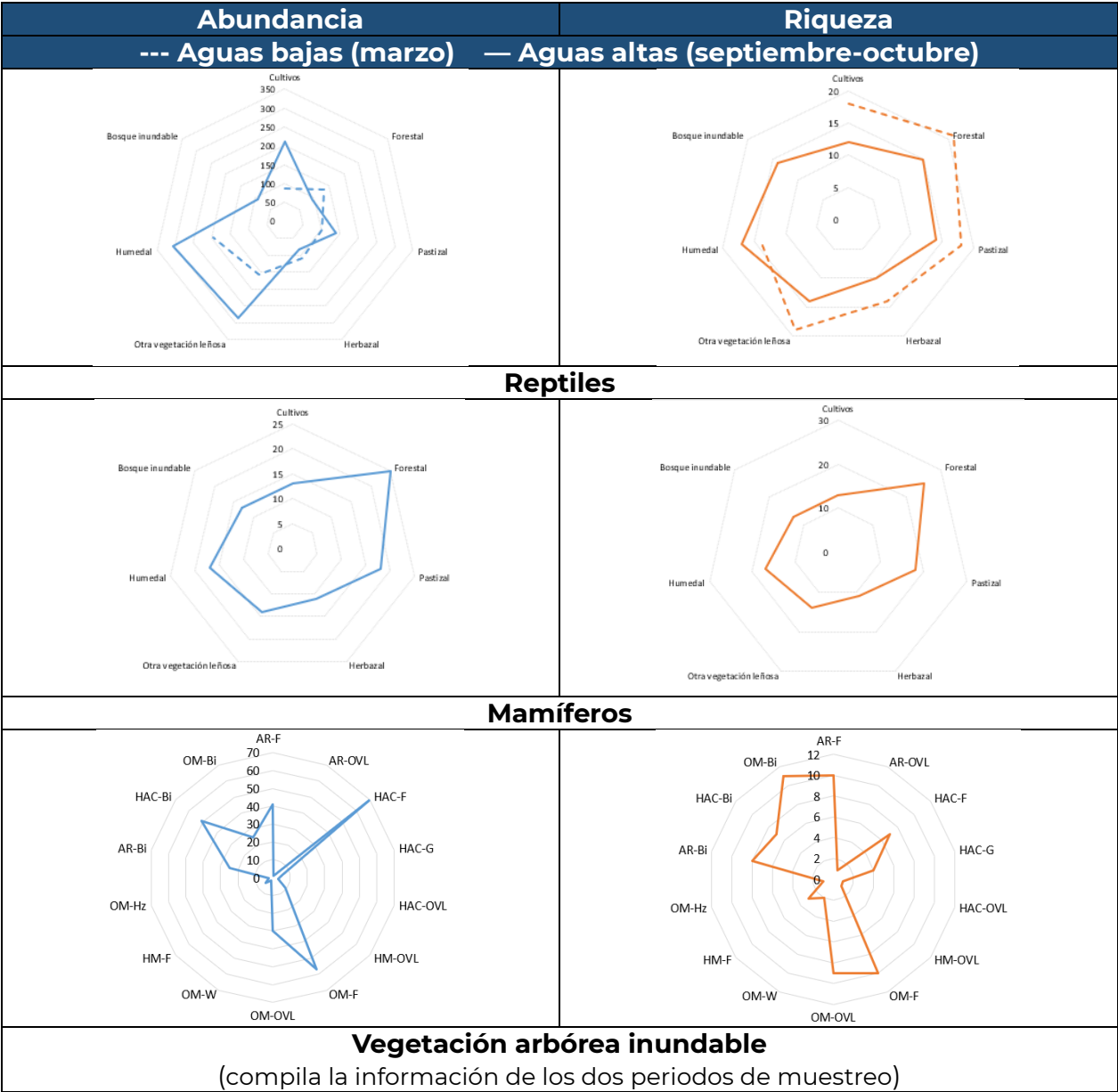


Figura 1. Valores de abundancia (densidad, abundancia total o cobertura, según el grupo) y riqueza (S) obtenidos para cada grupo biológico en los sectores de muestreo, piloto de validación de la propuesta del Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapotosa. Fuente: elaboración propia (2024).

PRINCIPALES ASPECTOS DE LA ECOLOGÍA DE LOS GRUPOS BIÓTICOS ANALIZADOS

FITOPLANCTON

Gran parte de los fitoplancteres de mayor frecuencia y/o abundancia en el CCZ (*Cryptomonas*, *Aulacoseira*, *Trachelomonas*, *Dolichospermum*, *Pseudanabaena*, *Cylindrospermopsis*, entre otros) son reconocidos por su

tolerancia a bajos niveles de luz (alta turbidez) y a la contaminación por materia orgánica y nutrientes, y pueden llegar a ser muy estables temporalmente en el sistema.

FICOPERIFITON

Se observó una clara tendencia a la predominancia de diatomeas (*Aulacoseira*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia* y *Ulnaria*) y algas filamentosas (*Chaetophora* y *Oedogonium*). Estas últimas, al parecer, asociadas a sitios con menor corriente y con mayor transparencia y conductividad. Cabe resaltar la frecuencia y abundancia de algas de tamaño medio (microperifiton), las cuales son comunes en sistemas enriquecidos (eutróficos).

ZOOPLANCTON

La composición taxonómica y la predominancia numérica de especies pequeñas (principalmente rotíferos) es común en ambientes fluctuantes, con moderada o alta carga orgánica y tendencia a la eutrofia. Los cambios temporales en la estructura del zooplancton, asociados principalmente con la transparencia y la profundidad del agua, indicaron que en el CCZ este grupo es altamente predado por consumidores mayores, como los peces.

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS ASOCIADOS A PLANTAS

Tanto en términos de frecuencia como de abundancia, los coleópteros (especialmente del género *Suphisellus*) fueron el grupo predominante en estos ensambles. Esto se debe a su alta afinidad con la vegetación acuática y a que la mayoría de ellos proliferan en sitios con abundantes detritos, provenientes de la descomposición y desintegración de la materia orgánica. Así mismo, otros organismos predominantes como los moluscos *Cochliopidae* spp y *Biomphalaria* sp, el díptero *Chironomidae* spp, el hemíptero *Tenagobia* sp; los microcrustáceos *Podocopida* spp y *Cyclestheria* sp, la familia *Belastomatidae* y *Pomacea* sp están asociados frecuentemente con altas concentraciones de materia orgánica viva y en descomposición.

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BENTÓNICOS

La mayor parte de los organismos dominantes en este ensamble son componentes clave de los ecosistemas, tanto por su rol en las cadenas tróficas (dado su hábito predominantemente detritívoro) como por ser alimento de peces, turbelarios, sanguijuelas, nematodos, larvas de otros insectos o incluso aves, reptiles y/o mamíferos. Además, muchos de ellos cumplen un papel

importante en los procesos de bioturbación, aireación y mineralización del sedimento, lo que incrementa el flujo de nutrientes y su disponibilidad para gran parte de los organismos acuáticos.

PECES

El número de individuos capturados y la biomasa hallada en el piloto realizado en el CCZ indicó que el barbúl (*Pimelodus yuma*), el gara gara (*Trachelyopterus insignis*), la arenca (*Triportheus magdalenae*) y la mojarra amarilla (*Caquetaia kraussii*) son las especies más frecuentes y representativas de este ecosistema.

En relación con la ecología de este grupo, los resultados indican que en el CCZ la ictiofauna responde principalmente a aspectos relacionados con la complejidad estructural del hábitat. Hay ensamblajes más diversos en sectores con mayor oferta de mesohábitats, lo que posiblemente también se relaciona con la oferta de alimento, particularmente en zonas de transición.

En cuanto al análisis de las características morfométricas (biomasa y talla), se encontró que la abundancia y la biomasa son variables inversamente relacionadas con el tamaño de las especies, principalmente las especies más comunes. Además, los ensamblajes de peces analizados estaban conformados ante todo por especies medianas y pequeñas (en ese orden) y algunas especies grandes, cuyas tallas no alcanzan lo máximo reportado en la literatura.

MACRÓFITAS ACUÁTICAS

Eichhornia crassipes fue la planta más frecuente en las zonas evaluadas con presencia de vegetación acuática, y tuvo amplia predominancia en el CCZ, pues en varias de las zonas presentó la mayor cobertura. En general, la cobertura total de los ensambles de macrófitas fluctuó entre 18,30 % y 85,63 % en los diferentes sectores, lo que indica riesgo de invasión por macrófitas, especialmente en sectores como Isla Grande, Sempegua (HAC-C), Belén-Bijagual (HM-OVL) y Saloa (HAC-OVL), donde se presentaron ocupaciones mayores al 70 % en al menos uno de los muestreos realizados durante el piloto.

AVES

Como era de esperarse, se encontró una alta abundancia de especies de hábitos acuáticos, como garzas, pelícanos, íbis, chorlitos, playeros, gaviotas, alcaravanes y ostreros. Además, se observaron varios sitios de descanso, dormideros y congregaciones para alimentación en la ciénaga y sus

inmediaciones. La mayoría de las especies registradas son frecuentes en bosques intervenidos y bordes, o poseen amplia tolerancia a la perturbación de sus hábitats. Entre tanto, las especies restringidas a bosques primarios o poco alterados están presentes en menor proporción.

ANFIBIOS

La mayor parte de los anfibios registrados son de dieta insectívora (excepto el sapo cachón, *Ceratophrys calcarata*, de dieta carnívora), tamaño mediano y actividad nocturna. En cuanto al hábito, la mayoría de las especies son terrestres, seguidas por arborícolas y semiacuáticas. Las especies más abundantes fueron las ranas *Leptodactylus fragilis*, *L. fuscus*, *Dendropsophus microcephalus* y *Scarthyla vigilans*, y el sapito *Pseudopaludicola pusilla*.

REPTILES

En este grupo predominaron especies insectívoras, seguidas de carnívoras, omnívoras y una especie herbívora (tortuga morrocoy, *Chelonoidis carbonarius*). En cuanto a hábitos, actividad y tamaño, predomina el hábito arborícola, seguido del acuático y del terrestre. La mayoría de los reptiles registrados son diurnos y de tamaño medio. Las especies más abundantes fueron *Caiman crocodilus* (babilla), *Gonatodes albogularis* (tuteca cabeciroja) e *Iguana iguana* (iguana o caporo).

MAMÍFEROS

El orden Chiroptera (murciélagos) presentó la mayor riqueza y abundancia en el CCZ; sin embargo, a nivel de especies, la mayor abundancia se registró para el mono aullador (*Alouatta seniculus*). En relación con la dieta, predominaron las especies omnívoras y frugívoras, y el grupo con menor representación (de ocho categorías encontradas) fueron los hematófagos. Muchas especies de mamíferos parecen estar asociadas con un tipo exclusivo de cobertura.

VEGETACIÓN ARBÓREA INUNDABLE

Dado que 11 de las 14 zonas de muestreo donde se realizó este análisis corresponden a una de las coberturas definidas como Forestal (F), Otra vegetación leñosa (OVL) y Bosque inundable (Bi), es claro que la riqueza y la abundancia de vegetación arbórea (valores máximos de 11 especies y 69 individuos, respectivamente) son bajas y reflejan la fuerte intervención a la cual se encuentra sometido este grupo biótico. Sin embargo, vale resaltar que se encuentran remanentes de vegetación nativa, característica de planos de

inundación, en todo el complejo cenagoso. En este sentido, el análisis de la presencia del mangle cienaguero, *Symmeria paniculata*, en toda el área de estudio, permitió concluir que es común encontrarlo en las zonas de transición, desde la cubeta de agua hasta la zona terrestre, principalmente en el norte del CCZ.

ASPECTOS BIOGEOGRÁFICOS, CATEGORÍAS DE CONSERVACIÓN, USOS E IMPORTANCIA CULTURAL, Y HÁBITOS MIGRATORIOS DE LAS ESPECIES

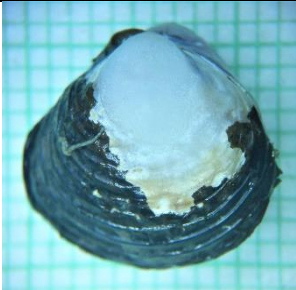
De acuerdo con la propuesta metodológica planteada en el Protocolo, estas características se evaluaron para los grupos de plantas (macrófitas y vegetación arbórea inundable) y para la fauna vertebrada (peces, aves, herpetos y mamíferos).

ASPECTOS BIOGEOGRÁFICOS

La mayoría de las macrófitas acuáticas presenta amplia distribución (entre neotropical a global o cosmopolita) y son nativas o naturalizadas; sin embargo, dos (2) de ellas están referenciadas como invasoras y 11 como potencialmente invasoras. Así mismo, gran parte de la vegetación arbórea inundable es nativa y está ampliamente distribuida, debido a que muchas de las especies son cultivadas en diferentes zonas tropicales y/o son naturalizadas; solo una especie es introducida, el arrayán (*Protium glabrum*). Entre la fauna íctica se registró una especie exótica y para los tres grupos de fauna vertebrada terrestre se registraron respectivamente dos (2) especies endémicas (Figura 2).

Para las aves se reportaron 15 especies casi endémicas, 10 cosmopolitas y 210 especies residentes. En cuanto a la herpetofauna, se encontraron ocho (8) especies binacionales, cuatro (4) trinacionales y una (1) exótica (la tuqueca, *Hemidactylus frenatus*), pero la mayor parte (38 especies) presentan distribución amplia. Entre los mamíferos, se reportaron tres (3) especies de distribución restringida y 38 cosmopolitas.

Endémicas		
Aves		<i>Euphonia concinna</i>
	<i>Ortalis garrula</i>	

Herpetos			
	<i>Dryophylax gambotensis</i>	<i>Helicops danieli</i>	<i>Rhinella humboldti</i>
Mamíferos			
	<i>Aotus griseimembra</i>	<i>Cebus malitiosus</i>	
Vegetación arbórea inundable			
	<i>Ruprechtia ramiflora</i>		
Exóticas (*potencialmente invasoras)			
Macroinvertebrados acuáticos			
	<i>Curbicula fluminea*</i>		
Peces			
	<i>Oreochromis niloticus</i>		
Herpetos	<i>Hemidactylus frenatus</i>		
Naturalizadas-Invasoras o potencialmente invasoras			

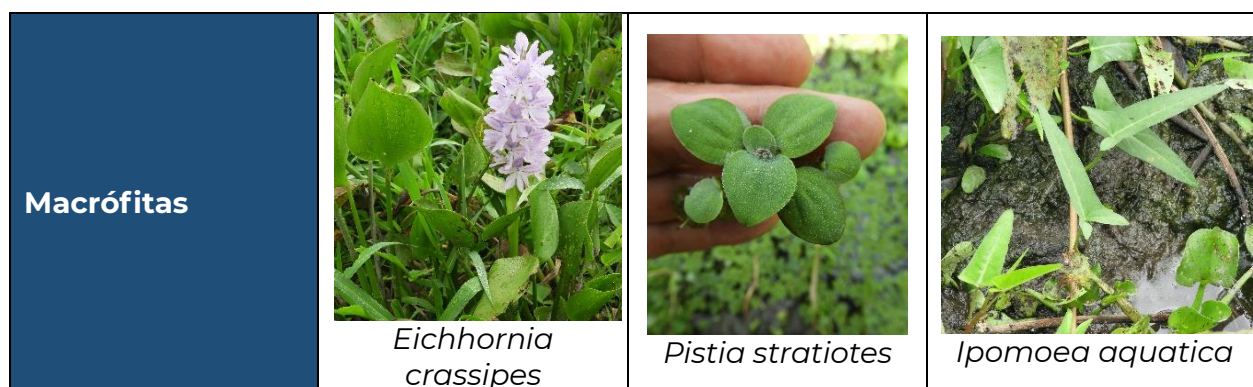


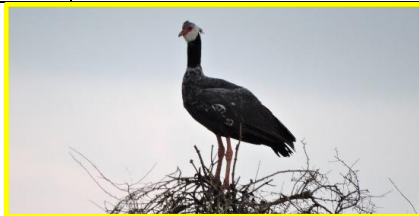
Figura 2. Algunas especies endémicas, exóticas, invasoras o con potencial invasor en los diferentes grupos analizados. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatos. Fuente: elaboración propia (2024).

CATEGORÍAS DE CONSERVACIÓN

Para todos los grupos se consultaron diferentes fuentes de información: Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres [CITES] (2024), Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN] (2024), Mojica et al. (2012), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] (2024), Morales-Betancourt et al. (2015), Renjifo et al. (2014) y Renjifo et al. (2016), entre otras. Según los sistemas clasificatorios, algunas especies se encuentran en diferentes categorías. No obstante, en este análisis se presenta el resultado que refleja la mayor amenaza, por lo que se resaltan las categorías desde En Peligro Crítico (CR) hasta Casi Amenazada (NT) (Figura 3).

En la categoría de Preocupación Menor (LC) se encontraron 14 especies de macrófitas acuáticas, 14 de peces, 234 de aves, 17 de anfibios, 31 de reptiles (de las cuales la *Boa constrictor* presenta tendencia decreciente), 35 de mamíferos y 36 de vegetación arbórea inundable.

En orden decreciente, en la categoría Datos Deficientes o Insuficientes (DD) se registraron una (1) especie de peces y dos (2) de mamíferos; en la No Aplicable (NA), 11 especies de macrófitas, dos (2) de peces y una (1) de mamíferos; y en la categoría No Evaluadas (NE), que con frecuencia tienden a corresponder a especies amenazadas (Johnson et al., 2015), se registraron siete (7) especies de macrófitas, dos (2) de peces y anfibios, una (1) de mamíferos y 10 de vegetación arbórea inundable.

En Peligro Crítico (CR)			
Peces			
	<i>Pimelodus grosskopfii</i>	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	
En Peligro/Amenazada (EN)			
Mamíferos		<i>Trichechus manatus</i>	
	<i>Cebus malitiosus</i>		
Vegetación arbórea inundable			
	<i>Bactris guineensis</i>	<i>Elaeis oleifera</i>	<i>Sabal mauritiiformis</i>
Vulnerable (VU)			
Peces			
	<i>Abramites eques</i>	<i>Ageneiosus pardalis</i>	<i>Curimata mivartii</i>
			
	<i>Megaleporinus muyscorum</i>	<i>Prochilodus magdalenae</i>	<i>Sorubim cuspicaudus</i>
Aves			
	<i>Chauna chavaria</i>		

Herpetos				
	<i>Chelonoidis carbonarius</i>		<i>Trachemys callirostris</i>	
Mamíferos				
	<i>Aotus griseimembra</i>		<i>Lontra longicaudis</i>	
Vegetación arbórea inundable			<i>Handroanthus chrysanthus</i>	
	<i>Pterocarpus acapulcensis</i>			
Casi Amenazada (NT)				
Peces				
	<i>Cynopotamus magdaleneae</i>		<i>Cyphocharax magdaleneae</i>	
				
			<i>Potamotrygon magdaleneae</i>	
				
	<i>Plagioscion magdaleneae</i>		<i>Hypostomus hondae</i>	
Aves	<i>Calidris pusilla</i>			

Figura 3. Especies en categorías de amenaza (UICN, Resolución 126 de 2024, CITES, Libros rojos). Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosa. Fuente: elaboración propia (2024).

USOS E IMPORTANCIA CULTURAL DE LAS ESPECIES

Entre las ocho (8) categorías de uso encontradas, la más común corresponde a la de alimentación humana y/o animal (o productos alimenticios o comestibles), para la que se registraron 61 especies de seis (6) grupos (excepto anfibios). El uso como medicina tradicional se reportó para cinco (5) grupos; los usos industriales o artesanales, ornamentales, como mascotas y como afrodisíacos, para tres (3) grupos cada uno; y los usos agrícolas y/o forestales y mágico-religiosos, para dos grupos respectivamente (Figura 4). Los reptiles y la vegetación arbórea inundable, seguidos por las macrófitas y luego por los peces, fueron los grupos con mayores usos registrados. Sin embargo, se debe resaltar que la fauna íctica, entre la que se encontraron 20 especies de interés comercial, constituye una de las principales fuentes de ingresos de la población del CCZ.

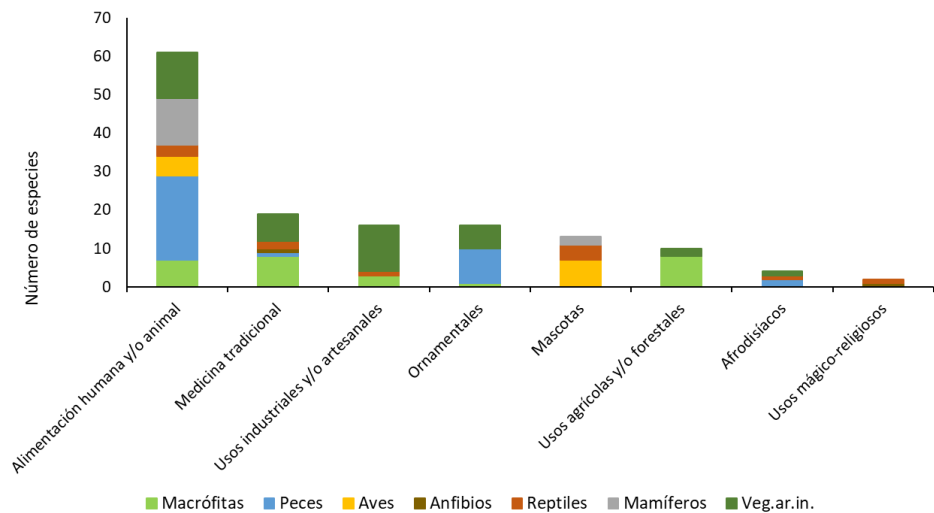


Figura 4. Usos e importancia cultural de las especies. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

Además, para la fauna vertebrada se revisaron las categorías CITES, y se encontraron especies reglamentadas en casi todos los grupos y en los tres apéndices (Tabla 2).

Tabla 2. Especies en apéndices CITES. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

Grupo	Apéndice/Especies
Peces	A.III: <i>Potamotrygon magdalenae</i>
Aves	A.I: <i>Jabiru mycteria</i>

Grupo	Apéndice/Especies
	A.II: <i>Amazilia tzacatl</i> , <i>Amazona ochrocephala</i> , <i>Anthracothorax nigricollis</i> , <i>Ara ararauna</i> , <i>Brotogeris jugularis</i> , <i>Caracara plancus</i> , <i>Chlorostilbon gibsoni</i> , <i>Chrysuronia goudoti</i> , <i>Daptrius chimachima</i> , <i>Eupsittula pertinax</i> , <i>Falco femoralis</i> , <i>F. sparverius</i> , <i>Forpus conspicillatus</i> , <i>F. passerinus</i> , <i>Glaucidium brasilianum</i> , <i>Herpetotheres cachinnans</i> , <i>Megascops choliba</i> , <i>Phaethornis anthophilus</i> , <i>Polyerata amabilis</i> , <i>Saucerottia saucerottei</i>
Reptiles	A.II: <i>Boa constrictor</i> , <i>Caiman crocodilus</i> , <i>Chelonoidis carbonarius</i> , <i>Corallus ruschenbergerii</i> , <i>Iguana iguana</i> , <i>Tupinambis teguixin</i>
Mamíferos	A.I: <i>Leopardus pardalis</i> , <i>Lontra longicaudis</i> , <i>Trichechus manatus</i>
	A.II: <i>Aotus griseimembra</i> , <i>Cebus malitiosus</i> , <i>Cerdocyon thous</i> , <i>Puma yagouaroundi</i>
	A.III: <i>Eira barbara</i> , <i>Mazama sanctaemartae</i> , <i>Tamandua mexicana</i>

Fuente: elaboración propia (2024).

HÁBITOS MIGRATORIOS

Este análisis fue aplicado en tres grupos: peces, aves y mamíferos. Entre la fauna íctica se registraron 13 especies residentes y 16 migratorias (cuyas migraciones se realizan en la macrocuenca Magdalena-Cauca). En cuanto a las aves, 201 especies son residentes; cuatro (4) efectúan migraciones locales de tipo altitudinal (RMLoc); una (1) especie realiza migraciones australes (MA: en Suramérica) y 31 son migratorias boreales (MB), es decir, realizan migraciones latitudinales. Entre los mamíferos, una (1) especie realiza migraciones transfronterizas y locales de tipo longitudinal (Figura 5).

Peces	<i>Ageneiosus pardalis</i>, <i>Astianax</i> sp, <i>Curimata mivartii</i>, <i>Cynopotamus magdalenae</i>, <i>Cyphocharax magdalenae</i>, <i>Megaleporinus muyscorum</i>, <i>Pimelodus grosskopfii</i>, <i>P. yuma</i>, <i>P. sp1</i>, <i>Plagioscion magdalenae</i>, <i>Pseudopimelodus atricaudus</i>, <i>P. magdaleniatum</i>, <i>Sorubim cuspicaudus</i>, <i>Triportheus magdalenae</i>   <i>Astyanax magdalenae</i> <i>Prochilodus magdalenae</i>
Aves (MB)	<i>Actitis macularius</i>, <i>Ardea herodias</i>, <i>Butorides virescens</i>, <i>Calidris pusilla</i>, <i>Catharus ustulatus</i>, <i>Coccyzus americanus</i>, <i>Contopus virens</i>, <i>Empidonax virescens</i>, <i>Hirundo rustica</i>, <i>Icterus gálbula</i>, <i>Leiostylypis peregrina</i>, <i>Mniotilta varia</i>, <i>Myiarchus crinitus</i>, <i>Nycticorax nycticorax</i>, <i>Pandion haliaetus</i>, <i>Parkesia motacilla</i>, <i>P. noveboracensis</i>, <i>Protonotaria citrea</i>, <i>Riparia riparia</i>, <i>Setophaga petechia</i>, <i>Spatula discors</i>, <i>Spiza americana</i>, <i>Sterna hirundo</i>, <i>Sternula antillarum</i>, <i>Tringa</i>

	<i>flavipes, T. solitaria, Tyrannus dominicensis, T. tyrannus, Vireo olivaceus</i>   <i>Charadrius collaris</i> <i>Tringa melanoleuca</i>
Mamíferos	 <i>Glossophaga longirostris</i>

Figura 5. Algunas especies migratorias registradas en el piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosa. Fuente: elaboración propia (2024).

ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS PARA GRUPOS DE HIDROBIOTA Y VEGETACIÓN ARBÓREA INUNDABLE

BIOMASA ESTIMADA (PESO Y/O CONTENIDO DE CARBONO) PARA GRUPOS DE HIDROBIOTA

Los mayores valores de biomasa del fitoplancton (sectores Belén/Bijagual-HM-OVL, Saloa-HAC-OVL, Isla Grande y El Banco-HM-G/HM-W), del ficoperifiton (Isla Barrancones, El Banco y Saloa), de los macroinvertebrados bentónicos (sector El Banco) y de los peces (Sempegua-HAC-C, Antequera-OM-W⁴ e Isla Grande) estuvieron determinados tanto por los valores de densidad como por la biomasa de los organismos de mayor peso, por lo que su tendencia espacial es similar a la de la densidad.

⁴ Codificación explicada en el Anexo 4, que trata sobre contenidos de carbono en suelos.

Entre tanto, en el caso del zooplancton (Isla Barrancones e Isla Grande) y de los macroinvertebrados asociados a macrófitas (sectores Belén/Bijagual y Saloa) fue más determinante la biomasa de algunos organismos que su densidad (Tabla 3). Entre los organismos con mayor aporte a esta variable en cada uno de los grupos se destacan los siguientes: (i) *Cylindrospermopsis*, *Phormidium*, *Cryptomonas*, *Aulacoseira* y *Dolichospermum* para el fitoplancton; (ii) *Gomphonema*, *Ulnaria* y *Chaetophora* para el ficoperifiton; *Notodiatomus maracaibensis*, *N. simillimus* y *Prionodiatomus colombiensis* para el zooplancton; (iii) *Belostoma* spp y *Pomacea* sp entre los macroinvertebrados asociados; (iv) *Corbicula* sp para los macroinvertebrados bentónicos; y (v) *Pimelodus yuma* (barbúl), *Trachelyopterus insignis* (gara gara), *Triportheus magdalenae* (arenca) y *Caquetaia kraussii* (mojarra amarilla) para los peces.

En cuanto a la dinámica temporal de esta variable, el zooplancton presentó diferencias notorias, con mayores valores de biomasa, como peso seco y como carbono en aguas altas; mientras que los macroinvertebrados asociados y los peces mostraron la tendencia contraria. Para los demás grupos no se evidenciaron variaciones contundentes de la biomasa⁵ (Tabla 3).

Tabla 3. Biomasa estimada para los grupos hidrobióticos analizados (excepto macrófitas acuáticas) y contenidos de carbono calculados para el fitoplancton, el ficoperifiton y el zooplancton. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatos. Fuente: elaboración propia (2024).

Sector de muestreo	Biomasa (peso)		Biomasa (carbono)	
	Aguas bajas	Aguas altas	Aguas bajas	Aguas altas
	Fitoplancton (mg/ml)		Fitoplancton (µgC/ml)	
Antequera	90,77	45,65	0,01	0,01
Belén/Bijagual	15 994,84	1221,00	2,26	0,17
El Banco	265,15	707,47	0,03	0,10
Isla Barrancones	245,46	14,50	0,03	0,00
Isla Grande	104,93	817,03	0,01	0,11
Saloa	745,44	839,31	0,11	0,11
Sempegua	30,29	49,47	0,00	0,01
	Ficoperifiton (mg/cm²)		Ficoperifiton (µgC/cm²)	
Antequera	97 249,64	41 380,83	8,38	3,98
Belén/Bijagual	6952,55	56 866,90	0,55	4,98
El Banco	416 446,24	80 013,01	39,62	5,84

⁵ La información completa se encuentra en las bases de datos del proyecto, y está estructurada en un repositorio virtual. Para una consulta más detallada, se recomienda realizar la solicitud oficial directamente a la Fundación Natura.

Sector de muestreo	Biomasa (peso)		Biomasa (carbono)	
	Aguas bajas	Aguas altas	Aguas bajas	Aguas altas
Isla Barrancones	45 779,74	558 764,20	3,61	53,24
Isla Grande	122 344,35	144 427,81	11,81	14,40
Saloa	259 165,24	132 541,57	16,64	12,14
Sempegua	139 678,36	179 109,14	12,74	13,77
	Zooplankton (µgPS/L)		Zooplankton (µgC/L)	
Antequera	53,13	59,87	23,50	26,36
Belén/Bijagual	31,64	45,25	14,50	20,66
El Banco	21,39	89,33	9,40	39,35
Isla Barrancones	207,64	212,03	91,40	93,38
Isla Grande	62,10	89,79	27,30	39,58
Saloa	30,82	32,60	13,70	14,46
Sempegua	63,68	61,19	28,00	26,98
	MIA asociados (g/m2)			
Antequera	2,85	0,74		
Belén/Bijagual	11,98	4,73		
El Banco	0	1,60		
Isla Barrancones	0,76	0,54		
Isla Grande	3,78	0,79		
S. Saloa	3,86	2,40		
S. Sempegua	2,78	0,21		
	MIA bentónicos (g/m2)			
S. Antequera		0,40		
S. Belén/Bijagual	1,60	0,20		
S. El Banco		156,73		
Isla Barrancones	1,20	5,12		
Isla Grande		0,36		
S. Saloa	0,29	0,99		
S. Sempegua		1,04		
	Peces (g)			
S. Antequera	29 517,00	23 458,00		
S. Belén/Bijagual	18 936,00	13 239,00		
S. El Banco	16 988,00	10 024,00		
Isla Barrancones	25 459,00	14 283,00		
Isla Grande	41 720,00	8229,00		
S. Saloa	30 708,00	12 549,00		
S. Sempegua	74 372,00	13 539,00		

Fuente: elaboración propia (2024).

ESTRUCTURA VERTICAL Y HORIZONTAL DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA INUNDABLE

ESTRUCTURA VERTICAL

Altura del dosel

Se registraron alturas entre 5,0 y 25,5 m, con un promedio general de 9,7 m. En la mayoría de los sectores analizados (excepto HAC-F, HM-OVL, AR-OVL, HAC-G y OM-W) y con mayor abundancia en AR-F, se encontraron individuos con alturas superiores a dicho promedio, lo que refleja un mejor estado de conservación de este tipo de vegetación en dichos sectores. Cabe resaltar que en los sectores HM-F, AR-Bi, OM-Bi, OM-OVL y AR-F se registró mayor variabilidad entre la altura de los individuos, resultado que sugiere procesos de regeneración de la vegetación arbórea inundable en tales zonas (Figura 6).

Cobertura del dosel

Al considerar el área total de cada parcela en los sectores de muestreo (500 m²), el porcentaje de cobertura de la vegetación arbórea inundable (área proyectada sobre el suelo) osciló entre 0,7 y 100 %. Para el estrato subarbóreo se destacan los sectores HAC-F, OM-F, AR-Bi, HAC-Bi, OM-Bi y OM-OVL, donde se registraron coberturas superiores al 50 %. Así mismo, para el estrato arbóreo inferior se destacan las coberturas AR-F, HM-F, AR-Bi, OM-Bi y OM-OVL. Además, en varios de los sectores mencionados se encontraron ejemplares de los dos estratos analizados, lo que puede relacionarse con mayor diversidad y/o con procesos de regeneración de la vegetación (Figura 6).

ESTRUCTURA HORIZONTAL

Área basal

En las zonas de muestreo, el cálculo del área basal (en el que se incluyeron 47 especies de los estratos subarbóreo y arbóreo inferior) en cada parcela exhibió diferencias contundentes, con resultados entre 0,00 m² en los sectores AR-OVL y OM-W, y 5595,26 m² en HM-F. En relación con esta variable, se destacan los sectores HM-F, OM-Bi, HAC-OVL, AR-Bi y OM-Hz, donde se obtuvieron resultados superiores al promedio general hallado: 1112,68 m² (Figura 6).

Clases diamétricas

Las clases diamétricas más comunes en los sectores de muestreo fueron las comprendidas entre los 0 y 60 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). La clase de 0 a 10 cm fue la mejor representada, tanto entre sectores como en número de individuos, lo que podría indicar reclutamiento o regeneración natural de las especies. Los sectores OM-Bi y HM-F fueron los únicos donde se

encontraron individuos con DAP >60 cm, y en ellos, junto con los sectores OM-F, HAC-Bi y OM-OVL, se registró una mayor cantidad de clases diamétricas (Figura 6).

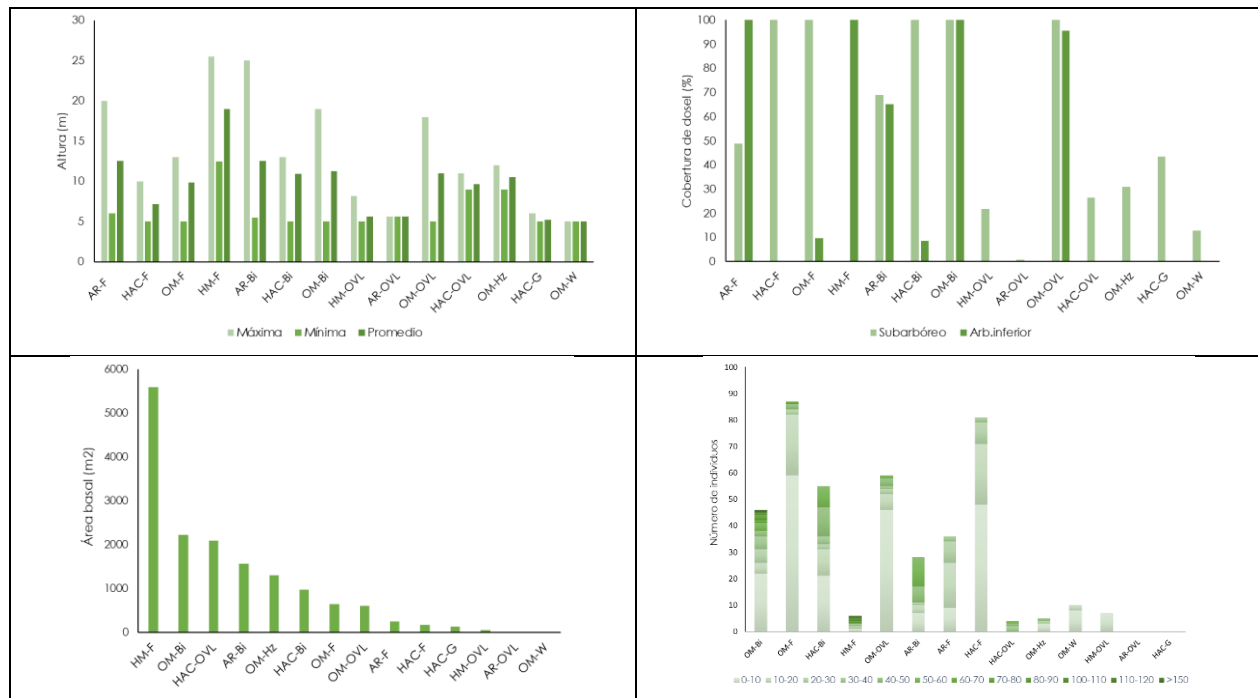


Figura 6. Estructura vertical (altura y cobertura de dosel) y horizontal (área basal y clases diamétricas) de la vegetación arbórea inundable. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatos. Fuente: elaboración propia (2024).

VARIABLES AMBIENTALES COMPLEMENTARIAS PARA LA HIDROBIOTA

PRODUCCIÓN PRIMARIA

La mayor parte de los resultados (91,67 %) de la producción primaria bruta (PPB) fueron menores a 100 mg C/m³/h, lo cual es un claro indicador de baja productividad. Además, la producción primaria neta (PPN) presentó resultados menores a la unidad (entre -584,35 y -11,05 mg C/m³/h) en gran parte de las muestras analizadas (61,11 %). Debido a esto, para los dos muestreos (aguas bajas y altas) se asume el predominio de procesos heterotróficos (mayor mineralización que producción), con excedentes de CO₂. Este resultado puede obedecer, entre otras razones, a los siguientes factores: (i) la carga orgánica alóctona, que genera elevadas tasas de respiración; (ii) la elevada temperatura, que puede ocasionar el consumo de oxígeno y la producción de carbono por parte del fitoplancton, afectar o inhibir la actividad enzimática de los fotótrofos

(por tanto, la producción de materia orgánica) y elevar las tasas metabólicas de respiración y de descomposición de los organismos; y (iii) la baja intensidad lumínica en la columna de agua.

No obstante, se destaca que en el sector Isla Grande, durante el muestreo de aguas bajas (marzo de 2023), y en los sectores Antequera (OM-W), Belén/Bijagual (HM-OVL) y Saloa (HAC-OVL), en el muestreo de aguas altas (septiembre-octubre de 2023), la PPN presentó valores medios (considerando el ciclo diario) superiores a la unidad, lo que indica procesos autotróficos en el CCZ. Además, en el muestreo de aguas altas se observó una leve tendencia hacia el incremento de la PPN, particularmente en los sectores Antequera, Belén/Bijagual, Saloa y Sempegua (HAC-C), lo que podría deberse a un efecto de mayor fertilización o disponibilidad de nutrientes en las capas superficiales del agua, posiblemente como consecuencia de la escorrentía.

Por otra parte, el hecho de que casi todos los valores positivos reportados para la PPN y los resultados mayores a la unidad para la relación PPB/R se presentaran en horas diurnas (horas de luz plena), sugiere que existe la tendencia a que en la noche la actividad fotosintética decrezca y aumente la respiración; es decir, la mayor actividad fotosintética se da con el aumento de la radiación solar en el ciclo nictemeral.

VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

El área inundada (espejo de agua) del CCZ presentó profundidades medias entre 0,88 y 3,16 m; el sector Antequera (OM-W) se destaca como el de menor profundidad media en ambos muestreos (0,88 m en aguas bajas y 1,06 m en aguas altas), y los sectores Sempegua (HAC-C) e Isla Grande como los más profundos (promedios de 2,84 y 3,16 m en Sempegua, y de 3,04 y 2,83 m en Isla Grande).

Cabe anotar que debido a la prolongación de la temporada seca en la mayor parte del territorio nacional en el segundo semestre del 2023, durante el muestreo de aguas altas (septiembre-octubre) no se evidenció un cambio significativo en la profundidad e, incluso, en varios de los sectores analizados (Saloa, El Banco, Isla Barrancones e Isla Grande) se registraron valores menores de profundidad en dicho muestreo.

En general, el agua presentó valores bajos de transparencia (entre 0,15 y 0,42 m de transparencia Secchi) en todo el CCZ, aunque mostró una leve tendencia al incremento en la época de aguas altas (septiembre-octubre de 2023).

Muestreo tipo perfil

Tanto la temperatura ambiente como la temperatura del agua tuvieron poca variación (CV <13 %) entre sectores y periodos de muestreo (considerando además los ciclos diarios de medición que se realizaron en horas luz, horas de ocaso y horas de oscuridad). La primera de dichas variables osciló entre 26 y 41,20 °C, con promedios por muestreo (hora, periodo y sector) de entre 26,50 y 39,05 °C. Por su parte, la temperatura del agua varió entre 27,10 °C y 36,48 °C, con promedios de entre 29,02 °C y 34,13 °C.

En la mayoría de los casos, la temperatura fue poco variable entre la superficie y la interfase agua- sedimento, pero en los sectores Belén (en aguas bajas), El Banco y Sempegua (aguas altas), especialmente en horas de luz en descenso, se observó la formación de metalimnio o termoclina⁶

La concentración de oxígeno disuelto (OD) osciló entre 3,00 y 25,32 mg/l (42,30 y 377,70 % de saturación), y en varios casos presentó variaciones fuertes en la columna de agua relacionadas principalmente con la formación de natas superficiales de algas y/o con lluvias intensas durante el muestreo. Esta variable evidenció una clara tendencia al incremento durante el periodo de aguas altas.

Vale la pena resaltar que, según el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015, Artículo 2.2.3.3.9.10⁷, para la preservación de flora y fauna se establece como límite una concentración de oxígeno de 4,0 mg/L, por lo que la mayoría de los resultados, así como los promedios hallados por sector (>5 mg/L) y por temporada (>6 mg/L), superan dicho límite.

El pH presentó un rango de variación de entre 6,80 y 10,19 unidades y un valor promedio de 8,04 (CV= 9,41 %). Pese a la baja variación entre sectores y periodos y a la propensión predominantemente básica del agua, esta variable también reflejó una leve tendencia al incremento en aguas altas. Además, presentó

⁶ Capa donde la temperatura cambia rápidamente con la profundidad y crea diferencias de densidad que limitan la mezcla de la columna del agua, con una diferencia de 2 a 3 °C entre una profundidad y la siguiente.

⁷ <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>

mayores promedios en el sector Belén/Bijagual (HM-OVL) y menores en Antequera (OM-W).

La conductividad eléctrica evidenció aguas con alto contenido iónico, con valores entre 59,40 y 236,80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (promedio de 156,23 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Entre sectores de muestreo se observaron mayores promedios de conductividad en Sempegua (HAC-C) y menores en Antequera (OM-W), en ambos periodos. Además, contrario a lo observado con la transparencia del agua, la concentración de oxígeno y el pH, la conductividad mostró tendencia a disminuir en el periodo de aguas altas, excepto en los sectores Belén/Bijagual (HM-OVL) e Isla Barrancones, en los cuales se observaron concentraciones de masas algales y acumulación de materia orgánica en ambos muestreos.

La turbiedad del agua osciló entre 6,40 y 199,00 UNT (promedio 56,23 UNT; CV= 98,37 %). Contrario a lo esperado, en la columna de agua no se evidenciaron cambios notorios y tampoco se observaron diferencias contundentes entre periodos o sectores de muestreo. Sin embargo, en los sectores El Banco (HM-G/HM-W) y Sempegua (HAC-C) se observó una drástica disminución de la turbiedad en el muestreo de aguas altas, posiblemente asociada con el incremento de vegetación herbácea en las orillas (para el primero de dichos sectores) y la disminución de buchón de agua en descomposición (para el segundo). Así mismo, en el sector Antequera (OM-W), durante el muestreo de aguas altas se observó un aumento drástico en la turbiedad en los muestreos en horas de luz plena y luz en descenso, debido al incremento abrupto de sólidos por lluvias intensas y por el tránsito de grandes islas de buchón.

El potencial de oxido-reducción presentó una fluctuación de entre 147 y 276 mV (promedio 207,21 mV; CV= 20,07%), que indica el predominio de procesos de oxidación en el agua, posiblemente relacionados con las altas temperaturas del sistema. Finalmente, en cuanto a la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) se midieron valores bajos, entre 0,01 y 0,14 mg/L (promedio 0,09 mg/L; CV= 28,52%). En los sectores en los que se realizaron medidas de esta variable en ambos periodos (Antequera, Isla Barrancones, Isla Grande y Saloa), excepto en Isla Barrancones, se observó una leve tendencia a la disminución de los SDT en el muestreo de aguas bajas.

Variables químicas relacionadas con la calidad del agua

Además de los perfiles *in situ*, durante el periodo de aguas altas (septiembre-octubre de 2023) se realizaron muestreos en dos profundidades de la columna de agua (mitad de la zona fótica y mitad de la zona afótica) en todos los sectores, con el fin de analizar algunas variables relacionadas con la calidad del agua. Entre los principales resultados se destacan:

- ✦ Las concentraciones de carbono orgánico total (COT) variaron entre 5,18 y 11,39 mg/L (promedio 7,74 mg/L; CV= 25,30 %); los mayores valores se registraron en el sector Isla Grande y los menores, en el sector El Banco (HM-W/HM-G). Teniendo en cuenta la condición natural de las aguas del CCZ, se anota que la totalidad de las concentraciones halladas superan la establecida para el agua de consumo (5,0 mg/L), según el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015.
- ✦ La materia orgánica biodegradable, determinada mediante la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), osciló entre valores inferiores al Límite de Cuantificación del Método (LCM: 2,00 mgO₂/L) y 15,20 mgO₂/L (promedio 7,87 mgO₂/L; CV= 52,19 %), y registró valores superiores al promedio en las dos profundidades de los sectores Saloa (HAC-OVL), Isla Barrancones y Belén/Bijagual (HM-OVL). Este resultado, sumado a que la demanda química de oxígeno (DQO) presentó los mayores valores en las dos profundidades de los sectores Saloa e Isla Barrancones, evidencia aportes importantes de materia orgánica en dichas zonas.
- ✦ En cuanto a las formas de nutrientes estimadas (Fósforo Total-PT, Nitratos-NO₃ y Nitritos-NO₂), la mayor parte de los resultados de PT (64,29 %) y NO₃ (85,71 %) y el 50 % de los resultados de NO₂ fueron inferiores a los LCM (0,075 mgP/L, 0,886 mgNO₃/L y 0,020 mgNO₂/L). El fósforo total presentó concentraciones cuantificables en los sectores Belén/Bijagual (HM-OVL) y Sempegua (HAC-C) en ambas profundidades, y en el sector Antequera (OM-W), en la mitad de la zona fótica; los nitratos, en Antequera en ambas profundidades; los nitritos, en los sectores Belén/Bijagual y Sempegua, en las dos profundidades; y en los sectores Antequera, Isla Barrancones y Saloa (HAC-OVL), en la mitad de la zona fótica. No obstante, la totalidad de dichos resultados indica bajas concentraciones de nutrientes disponibles para los organismos.

RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES AMBIENTALES ESTIMADAS Y LA BIOMASA DE LOS GRUPOS DE HIDROBIOTA

Esta evaluación se ejecutó mediante el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) que explicó el 78,98 % de la variación de los datos en los dos primeros ejes y, aunque no presentó significancia estadística ($p \geq 0,05$), evidenció la clara relación entre la transparencia del agua (Tr.Secchi) y la concentración de OD con la biomasa de los productores primarios del ecosistema (fitoplancton y ficoperifiton). Por su parte, la biomasa del zooplancton se asoció directamente con la profundidad total (Prof.tot.) e inversamente con la turbiedad, variable que, a su vez, se correlacionó directamente con los dos grupos de macroinvertebrados acuáticos. Los peces mostraron asociación directa con la conductividad eléctrica (CE), e inversa con la transparencia del agua y el oxígeno disuelto. Aunque no se evidenció separación temporal, espacialmente el ACC apartó los muestreos realizados en los sectores El Banco (HM-G/HM-W) y Belén/Bijagual (HM-OVL) en el cuadrante negativo del primer eje (Figura 7).

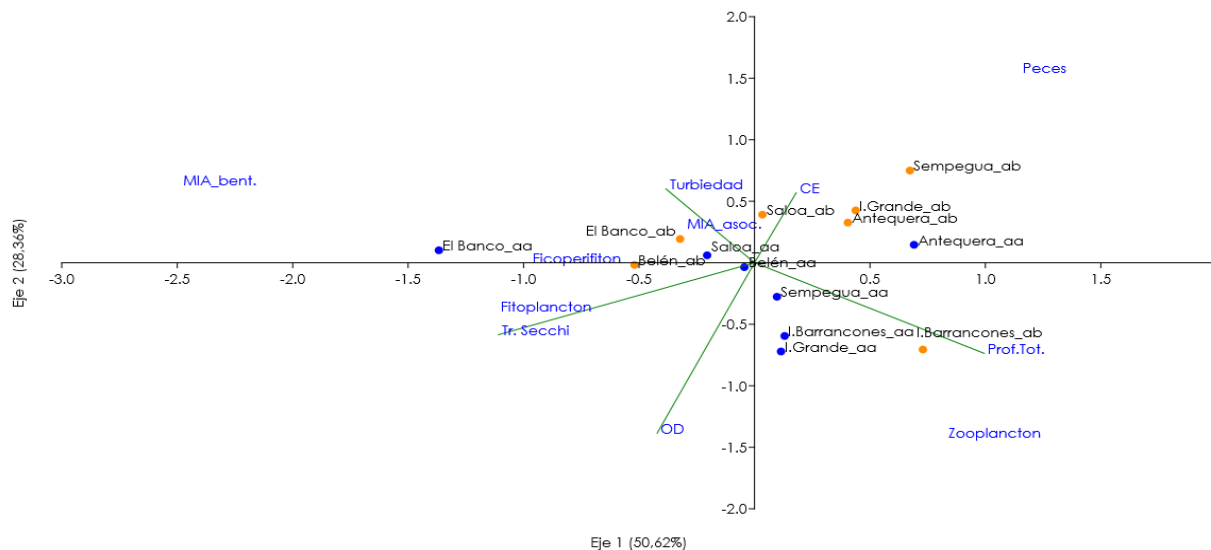


Figura 7. Análisis de correspondencia canónica entre los valores de biomasa para los grupos de hidrobiota (excepto macrófitas acuáticas) y las variables físicas y químicas del agua. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosa. Fuente: elaboración propia (2024).

ALTOS VALORES DE CONSERVACIÓN (AVC) EN EL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA

Un AVC es un valor biológico, ecológico, social o cultural excepcionalmente significativo o de importancia crítica. Los AVC se dividen en seis categorías: (i) diversidad de especies, (ii) ecosistemas y mosaicos a escala de paisaje, (iii)

ecosistemas y hábitats, (iv) servicios ecosistémicos, (v) necesidades de las comunidades y (vi) valores culturales (Brown et al., 2013).

Estos autores proporcionan detalles para la identificación y aplicación de AVC en sistemas de agua dulce o humedales continentales como los que conforman el CCZ. Con base en estos criterios, es claro que la totalidad del complejo constituye un AVC, dado que en el año 2018 este ecosistema fue designado como humedal de importancia internacional Ramsar (Decreto 119 de 2018). Además, está incluido dentro de los límites de un área protegida pública regional, denominada Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) de Zapatos y hace parte del tratado intergubernamental Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Ley 357 de 1997). Adicionalmente, es un humedal natural (no regulado) que constituye una ruta de migración de aves y peces (esto último, según información primaria obtenida durante el piloto de validación e información secundaria del área de influencia).

No obstante, con el propósito de realizar los ejercicios para identificar y zonificar los diferentes tipos de AVC y las presiones que los afectan, y formular iniciativas de conservación con objetivos específicos y fácilmente medibles, se consideraron diferentes resultados del piloto de validación de la propuesta de Protocolo. De esta forma, la identificación de AVC y las presiones, así como el planteamiento de iniciativas de conservación, se efectuaron teniendo en cuenta los resultados de todo el compartimiento de Biodiversidad, pero la zonificación se realizó con los resultados de peces del primer piloto y del Monitoreo Comunitario Participativo Pesquero (MCPPe).

ZONIFICACIÓN DE ALTOS VALORES DE CONSERVACIÓN EN EL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA

La metodología para la zonificación establece directrices para identificar criterios basados en cinco AVC considerando las condiciones específicas del área de estudio, a partir de una Evaluación Multicriterio (EMC) y mediante el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) para valorar indicadores y obtener resultados estadísticos aplicables con herramientas de Sistema de información Geográfica (SIG). Esto implicó la preparación de insumos geográficos, la reclasificación de valores y la superposición ponderada de capas cartográficas para delimitar las zonas de AVC propuestas, en donde se incluyeron aspectos

de biodiversidad, biofísicos y socioeconómicos, con ponderaciones calculadas según el método de Saaty (2008).

Como resultado, se identificaron cinco (5) AVC y se plantearon 10 indicadores (Figura 8).

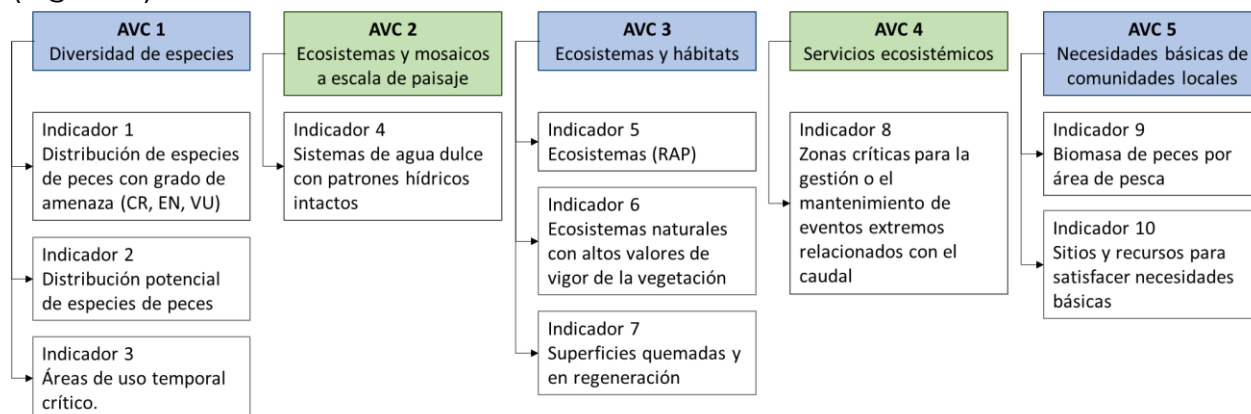


Figura 8. Altos valores de conservación e indicadores identificados. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

Por tratarse de un ejercicio a escala local, se contó con poca información geográfica secundaria, por lo que se procedió a la generación de nuevos insumos geográficos para los diferentes indicadores (Tabla 4).

Tabla 4. Métodos de generación de los insumos geográficos por indicador. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

Indicador/Insumo/Fuente
Indicador 1. Áreas Claves para la Conservación (ACC) de la biodiversidad dulceacuícola de peces. Plan de manejo del DRMI CCZ (Fundación Natura, 2022).
Indicador 2. Modelos de distribución de las especies <i>Prochilodus magdalenae</i> , <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> , <i>Plagioscion magdalenae</i> , <i>Pimelodus yuma</i> y <i>Sorubim cuspicaudus</i> , generados en Maxent, a partir de datos de presencia y variables ambientales.
Indicador 3. Cartografía social del MCPPe donde se identifican áreas de influencia de 500 m a la redonda de cada punto, aptas para la reproducción, alimentación, crecimiento y desarrollo de los peces.
Indicador 4. Valores de escorrentía superficial obtenidos a partir del modelo hidrológico InVEST Water Yield (producción de agua).
Indicador 5. Polígonos de la Lista Roja de Ecosistemas (Keith et al., 2013), según las categorías de riesgo de la UICN.
Indicador 6. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) calculado para ecosistemas naturales (arbustal, bosque, herbazal, laguna, río, sabana, subxerofitia, zona pantanosa, zonas arenosas naturales), a partir de mosaico Sentinel-2.

Indicador/Insumo/Fuente
Indicador 7. Índice de Quemas Normalizado (NBRI) calculado para el área de interés, a partir de mosaico Sentinel-2.
Indicador 8. Pendiente calculada a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución espacial.
Indicador 9. Interpolación de los valores del peso total de la pesca (biomasa) para siete zonas de muestreo.
Indicador 10. Sitios de pesca artesanal con un área de influencia de 100 m, fundamentales para satisfacer necesidades alimentarias.

Fuente: elaboración propia (2024).

Seguidamente, se reclasificaron los valores de las capas geográficas que representan los indicadores de los AVC para generar mapas; se crearon campos adicionales para insertar los valores y clases propuestos; y se convirtieron las capas ráster a formato vectorial (Tabla 5).

Tabla 5. Reclasificación de valores por indicador. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

AVC	Indicador	Clases	Valor
1	1	Presencia	1
		Probabilidad muy alta	3
	2	Probabilidad alta	2
		Probabilidad media	1
	3	Presencia	1
2	4	Alta escorrentía	2
		Moderada escorrentía	1
3	5	En peligro crítico (CR)	3
		Amenazados (EN)	2
		Vulnerables (VU)	1
	6	Muy alto vigor	2
		Alto vigor	1
	7	Áreas quemadas	2
		Áreas en regeneración	1
4	8	Pendiente plana	2
		Pendiente plano cóncava y ligeramente plana	1
5	9	Muy alta	3
		Alta	2
		Media	1
	10	Presencia	1

Fuente: elaboración propia (2024).

CAPAS GEOGRÁFICAS RESULTANTES POR CADA ALTO VALOR DE CONSERVACIÓN

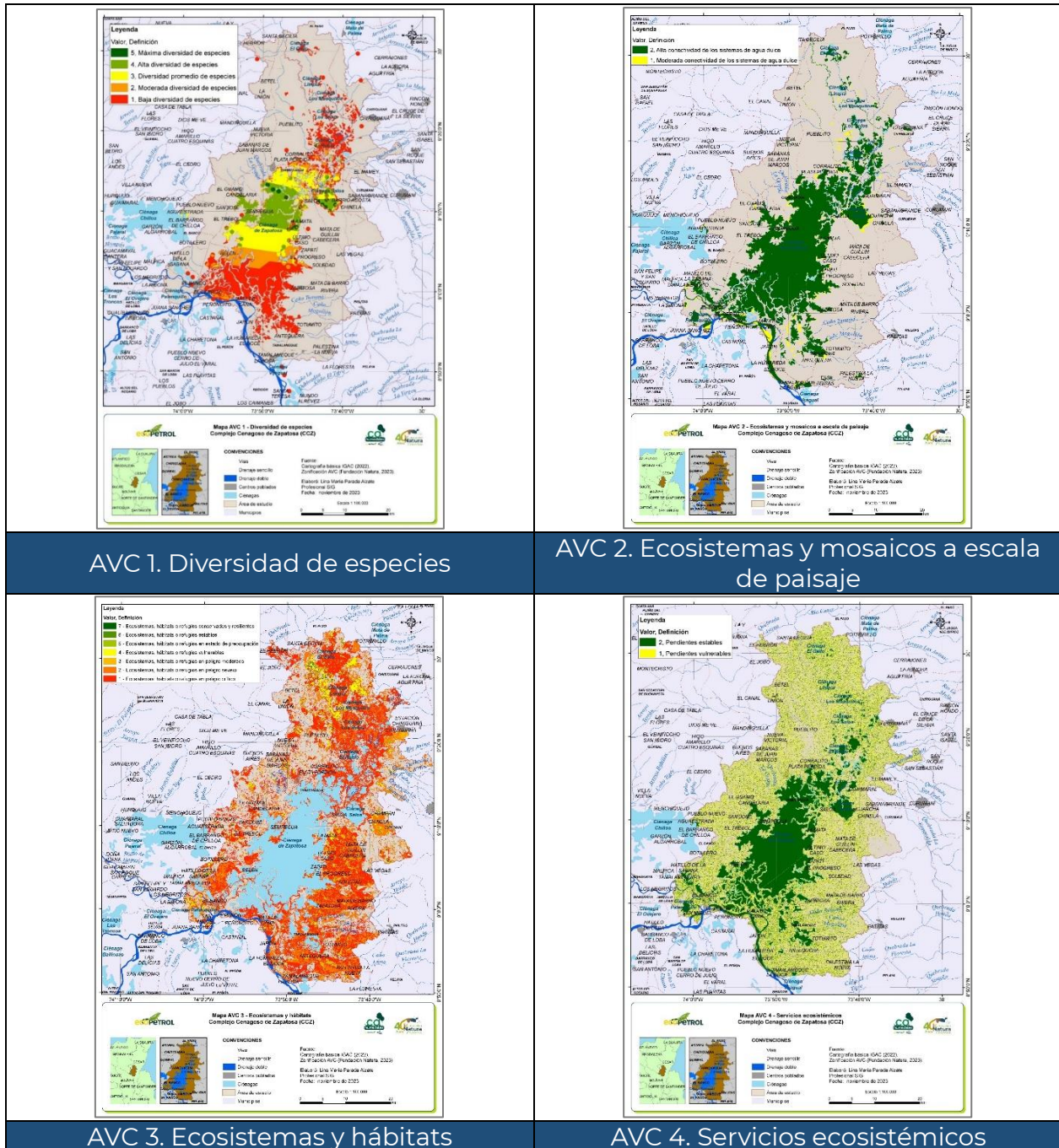
Se unieron las capas geográficas para obtener una capa final por cada criterio, y se consideraron los polígonos que representan los indicadores desde una perspectiva de conservación. Una vez generadas las capas se crearon nuevos campos en cada tabla de atributos para insertar los valores finales de cada criterio, que consisten en la suma de los valores de cada indicador (Tabla 6).

Tabla 6. Valores y descripción de las clases finales para cada Alto Valor de Conservación. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosa.

AVC	Valor	Definición
1	5	Máxima diversidad de especies
	4	Alta diversidad de especies
	3	Diversidad promedio de especies
	2	Moderada diversidad de especies
	1	Baja diversidad de especies
	0	No aplica
2	2	Alta conectividad de los sistemas de agua dulce
	1	Moderada conectividad de los sistemas de agua dulce
	0	No aplica
3	7	Ecosistemas, hábitats o refugios conservados y resilientes
	6	Ecosistemas, hábitats o refugios estables
	5	Ecosistemas, hábitats o refugios en estado de preocupación
	4	Ecosistemas, hábitats o refugios vulnerables
	3	Ecosistemas, hábitats o refugios en peligro moderado
	2	Ecosistemas, hábitats o refugios en peligro severo
	1	Ecosistemas, hábitats o refugios en peligro crítico
	0	No aplica
4	2	Pendientes estables
	1	Pendientes vulnerables
	0	No aplica
5	4	Alta importancia para comunidades locales
	3	Significativa importancia para comunidades locales
	2	Moderada importancia para comunidades locales
	1	Poca importancia para comunidades locales
	0	No aplica

Fuente: elaboración propia (2024).

A partir de los valores presentados se generaron cinco mapas⁸, uno por cada AVC (Figura 9).



⁸ La información completa se encuentra en las bases de datos del proyecto, que está estructurada en un repositorio virtual. Para una consulta más detallada, se recomienda realizar la solicitud oficial directamente a la Fundación Natura.

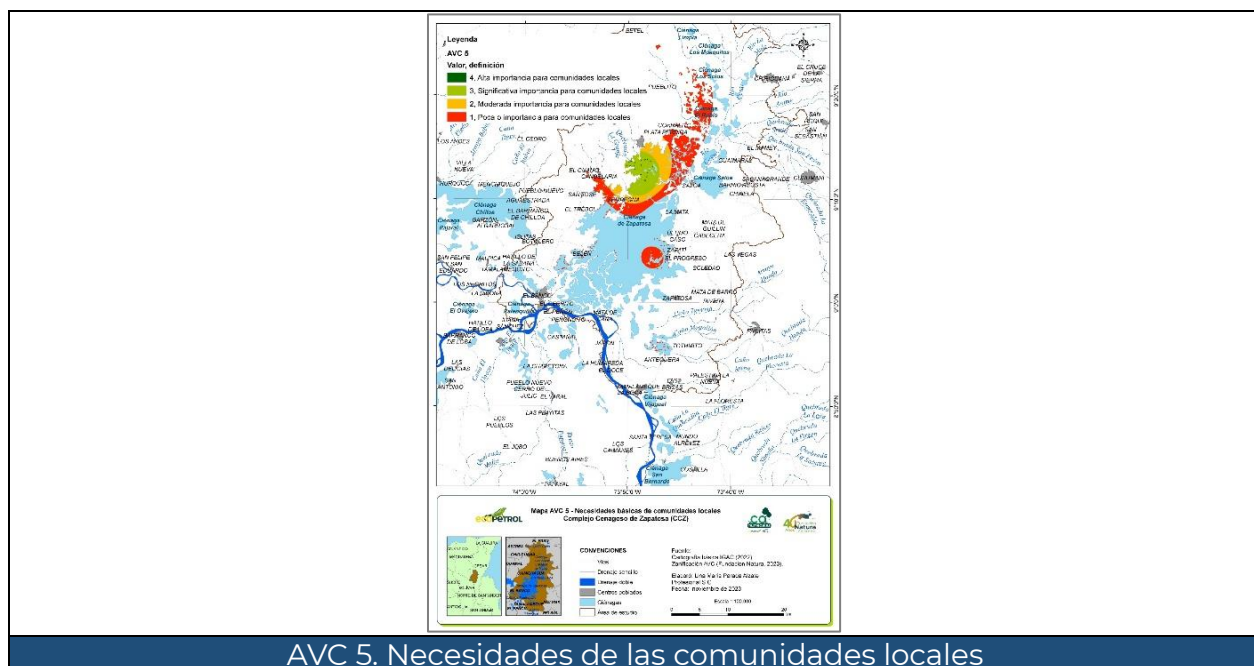


Figura 9. Mapas generados para los cinco AVC identificados en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

La calificación de criterios se hizo a partir de la escala numérica (Saaty, 2008), mediante la aplicación de la matriz de valoración (ejercicio realizado por el equipo de profesionales del Protocolo); posteriormente, para normalizar la matriz se calculó el vector propio (W_i) y el índice de consistencia (C_i). La consistencia se evaluó con el cálculo de λ_{max} , y esto indicó consistencia, debido a que se usaron cinco criterios. Luego, se calculó C_i para determinar la desviación del vector λ_{max} respecto a n y el Índice de Consistencia Aleatorio (RCI). Así, se procedió al cálculo de la relación de la consistencia (CR), que indica que los criterios definidos para la zonificación de los AVC para el CCZ son consistentes (Tabla 7).

Tabla 7. Matriz de comparación de criterios entre Altos Valores de Conservación y cálculos para evaluar la consistencia de los criterios. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Fuente: elaboración propia (2024).

	C1	C2	C3	C4	C5	W_i	C_i	Cálculos
C1	1,00	3,00	3,00	7,00	9,00	3,55	0,46	$\lambda_{max}= 5,46$
C2	0,33	1,00	3,00	5,00	9,00	2,14	0,27	$C_i = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} = 0,114$

	C1	C2	C3	C4	C5	Wi	Ci	Cálculos
C3	0,33	0,33	1,00	7,00	9,00	1,48	0,19	$Rci = \frac{1,98*(n-2)}{n} = 1,188$ $CR = Ci / RCI = 0,0961$
C4	0,14	0,20	0,14	1,00	3,00	0,41	0,05	
C5	0,11	0,11	0,11	0,33	1,00	0,21	0,03	

Fuente: elaboración propia (2024).

SUPERPOSICIÓN PONDERADA DE LAS CAPAS GEOGRÁFICAS PARA LA ZONIFICACIÓN DE LOS ALTOS VALORES DE CONSERVACIÓN

Con el fin de facilitar el análisis de los datos geoespaciales y la obtención de las zonas finales, se combinaron los atributos en función de la relación espacial o de atributos comunes, mediante la unión de las capas geográficas de los cinco AVC. El resultado fue una nueva capa, sobre la cual se crearon campos en la tabla de atributos para sumar los valores de los cinco criterios, calcular el promedio de los valores y determinar el valor ponderado. Para interpretar los resultados, se clasificaron los valores con el fin de diferenciar áreas dentro del ecosistema y, así, maximizar la conservación y equilibrar el uso humano con la preservación ambiental (Tabla 8).

Tabla 8. Clasificación de las áreas resultantes de la zonificación de los Altos Valores de Conservación para el Complejo Cenagoso de Zapatosá. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosá.

Clase / Prioridad		Rango	Definición
1	Baja	0,03-0,90	Zonas con AVC de resiliencia climática, que contribuyen al manejo de impactos climáticos, pero ocupan una posición menos crítica en la jerarquía general.
2	Intermedia	0,92-1,39	Zonas que no alcanzan los niveles más altos en todos los criterios evaluados, pero que deben ser restauradas o rehabilitadas para mejorar su importancia ecológica.
3	Moderada	1,40-1,87	Zonas de uso sostenible que presentan características paisajísticas únicas, conectividad ecológica y potencial de regeneración natural. Se permite cierto nivel de actividad humana controlada, para equilibrar la conservación con el uso del suelo.
4	Alta	1,88-2,44	Zonas consideradas hábitats clave con valores sustanciales en términos de biodiversidad, de importancia única para el funcionamiento del humedal.

Clase / Prioridad		Rango	Definición
5	Muy alta	2,45-3,70	Zonas consideradas núcleos de conservación por obtener los valores más altos en la superposición ponderada, críticas para la preservación y esenciales para la salud del ecosistema a largo plazo.

Fuente: elaboración propia (2024).

Como resultado final se generó el mapa de zonificación de AVC para el CCZ (Figura 10), que representa las áreas prioritarias para la preservación ambiental en el humedal. Estas zonas fueron identificadas en función de su singular biodiversidad, la presencia de hábitats críticos y la realización de funciones ecológicas esenciales. Se reconoce su importancia vital para mantener la salud del ecosistema del humedal y su capacidad para albergar una variada vida silvestre.

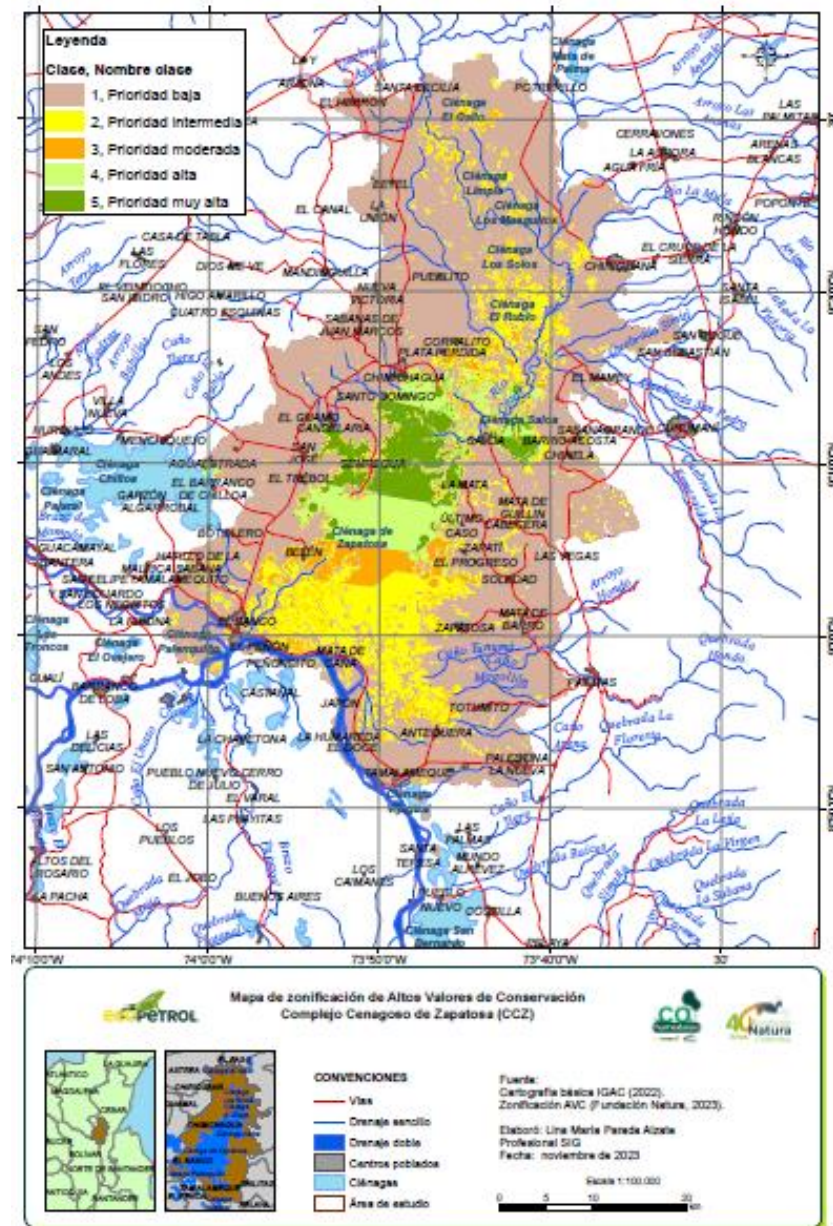


Figura 10. Mapa de zonas de Altos Valores de Conservación del Complejo Cenagoso de Zapatos con prioridad de conservación. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatos. Fuente: elaboración propia (2024).

Los resultados revelan variabilidad considerable en los niveles de conservación dentro del área de estudio. La categoría Prioridad baja muestra una extensión significativa de 140 044,44 ha; la clase Prioridad intermedia abarca 22 234,97 ha, lo que señala zonas que podrían requerir atención focalizada. Las categorías Prioridad moderada, Prioridad alta y Prioridad muy alta presentan extensiones de 7 685,45 ha, 12 288,71 ha y 10 081,38 ha respectivamente, lo que destaca las áreas críticas que demandan acciones urgentes para preservar la integridad

ecológica del humedal. Estos hallazgos subrayan la necesidad de estrategias de gestión diferenciadas para abordar prioridades y garantizar la sostenibilidad.

PRINCIPALES PRESIONES A LAS QUE ESTÁN SUJETOS LOS ALTOS VALORES DE CONSERVACIÓN EN EL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA

Durante el piloto de validación se evidenciaron algunas presiones específicas sobre especies con atributos de AVC, sobre diferentes hábitats indispensables para dichas especies y/o sobre el ecosistema en general (Figura 11; Tabla 9).

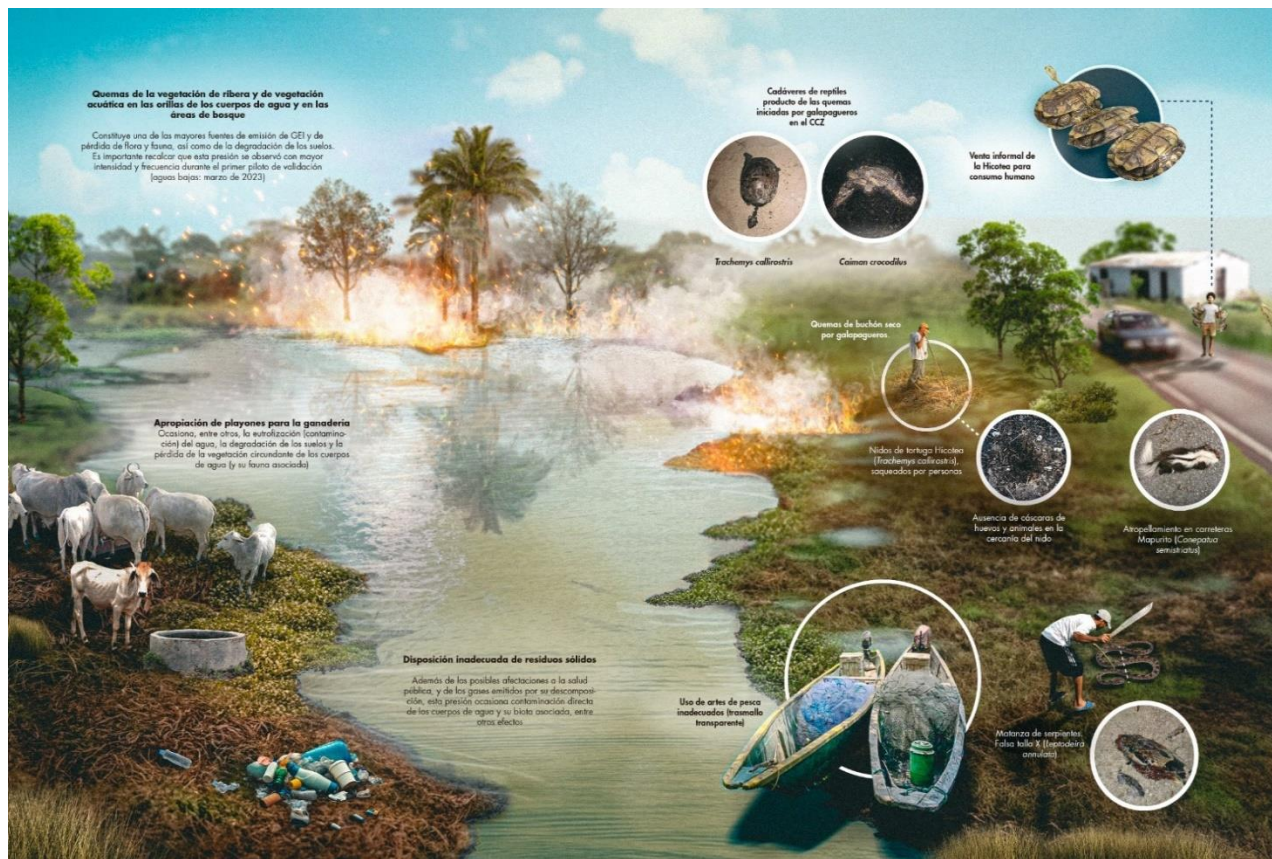


Figura 11. Presiones sobre los Altos Valores de Conservación del Complejo Cenagoso de Zapatosa. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosa. Fuente: elaboración propia (2024).

Tabla 9. Principales presiones sobre los Altos Valores de Conservación identificadas en el Complejo Cenagoso de Zapatosa. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosa. Fuente: elaboración propia (2024).

Principales presiones identificadas para cada AVC	AVC				
	1	2	3	4	5
Desecación y desvío de caños					

Principales presiones identificadas para cada AVC	AVC				
	1	2	3	4	5
Apropiación de playones para ganadería					
Quemas de vegetación de ribera y acuática					
Tala de árboles y entresaca de madera					
Uso de artes o métodos de pesca inadecuados					
Disposición inadecuada de residuos sólidos					
Atropellamiento de animales en carreteras					
Matanza sistemática de serpientes y “galapagueros”					

Fuente: elaboración propia (2024).

INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN PARA EL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA

Para el planteamiento de estas iniciativas se consideraron, además de las zonas con prioridad de conservación (Figura 10), acciones estratégicas y operacionales que pudieran articularse con los objetivos y las metas de gestión establecidos en el *Plan Estratégico o Plan de Acción de la Armonización del Plan de Manejo del DRMI-Ramsar Complejo Cenagoso de Zapatosa* (Fundación Natura et al., 2022), así como con los planes y las políticas nacionales e internacionales que tienen incidencia en el CCZ (Convención Ramsar, CDB, CMNUCC, Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico-PNGIRH, Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático-PNACC, Marco Mundial de Biodiversidad-MMB y ODS).

De esta forma, el conjunto de acciones propuestas podría incidir al mismo tiempo en la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático, la regulación de la calidad del agua, el suministro de alimentos y/o las contribuciones no materiales de la naturaleza a la sociedad, entre otras (Tabla 10).

Tabla 10. Identificación de las principales presiones sobre los Altos Valores de Conservación en los planes y políticas para la planificación del agua y la biodiversidad. Piloto de validación de la propuesta de Protocolo en el Complejo Cenagoso de Zapatosa.

Iniciativas de conservación planteadas	AVC	Planes y políticas involucrados (planificación conjunta)
--	-----	--

	1	2	3	4	5	DRMI	C.	CDB	CMNUCC	PNGIRH	PNACC	MMB	*ODS
Programa de sensibilización y conservación de las especies y los hábitats del CCZ													4, 13
Disminución de los taponamientos de caños y pequeños afluentes, ocasionada por <i>Eichhornia crassipes</i> , viva y en descomposición													1, 2, 6, 13
Rehabilitación/Restauración/Reforestación con especies arbóreas nativas													8, 13
Control y vigilancia de artes de pesca													1, 2, 12, 15
Programa "Basuras cero"													3, 13, 15
Aprovechamiento económico de <i>E. crassipes</i>													1, 2, 3, 6, 8, 11, 12, 13, 15
*ODS: 1. Fin de la pobreza. 2. Hambre cero. 3. Salud y bienestar. 4. Educación de calidad. 6. Agua limpia y saneamiento. 8. Trabajo decente y crecimiento económico. 11. Ciudades y comunidades sostenibles. 12. Producción y consumo responsables. 13. Acción por el clima. 15. Vida de ecosistemas terrestres													

Fuente: elaboración propia (2024).

RECOMENDACIONES, LIMITACIONES Y SALVEDADESES

Dada la necesidad de contar con insumos y herramientas fiables y con soporte científico para la gestión de los ecosistemas, es preciso que la totalidad de los análisis y las fases de estudio propuestos para el compartimiento de biodiversidad sean llevados a cabo por profesionales competentes (especializados en cada uno de los grupos biológicos a analizar), y mediante técnicas, métodos (de campo, laboratorio y análisis) y el uso de literatura estandarizados y/o actualizados.

Para el levantamiento de información de línea base se sugiere considerar la mayor cantidad posible de métodos (muestreos en campo, consulta de literatura y bases de datos, entrevistas, entre otros), con el fin de contar con información robusta.

Para el fitoplancton, el ficoperifiton y el zooplancton se recomienda recolectar, además de las muestras cuantitativas, algunas muestras cualitativas

representativas de los sectores de muestreo, con el fin de lograr una mejor identificación de la diversidad y tener cálculos más precisos de biovolumen, biomasa y contenidos de carbono. Así mismo, en temporadas de aguas bajas, se sugiere realizar muestreos cualitativos de toda la biota acuática en cuerpos de agua “desconectados” (como pozos o charcos remanentes del periodo de inundación), con el fin de lograr una caracterización más completa de su diversidad.

Tanto para la vegetación (macrófitas y vegetación inundable y terrestre) como para la fauna vertebrada, se sugiere el uso de métodos de muestreo que no impliquen las colectas o los sacrificios, o que los reduzcan lo máximo posible, con el fin de minimizar los impactos negativos de este tipo de estudios.

La estimación de la biomasa y los contenidos de carbono (para los grupos de hidrobiota) se puede lograr por diferentes métodos: peso fresco, peso seco, medidas morfométricas como variable en regresiones de biomasa previamente establecidas y literatura científica (información secundaria), entre otros. Además, se anota que no es necesario realizar esta estimación considerando todos los organismos, sino solo aquellos clasificados como dominantes (mayor frecuencia y abundancia) y de mayor tamaño o de alta densidad en alguno de los sectores de muestreo. Excepto para los peces, que se pesaron en su totalidad, en este piloto se obtuvieron valores medios para los organismos dominantes, con estimaciones de biomasa superiores al 50 % de la densidad total calculada en todos los casos.

En el análisis de la vegetación inundable, según los objetivos, el presupuesto y el tiempo del proyecto, se pueden incluir indicadores para otro tipo de vegetación, como herbáceas y arbustos, que brinden información más amplia y robusta con el fin de plantear acciones de manejo y conservación.

En la identificación de AVC y de las principales presiones que los afectan, se propone la elaboración de matrices, teniendo en cuenta que un mismo objeto de conservación puede hacer parte de más de un AVC (por ejemplo, un árbol nativo y/o en peligro de extinción, AVC 1, puede ser a su vez el hábitat o proveer el alimento principal de una especie animal determinada, AVC 3, y tener una connotación sagrada para la comunidad del área analizada, AVC 6) y que una presión puede tener influencia sobre varios AVC. Se anota que este proceso

debe partir de una construcción conjunta entre profesionales expertos y la comunidad.

Para la zonificación de AVC se recomienda iniciar con la revisión y evaluación exhaustiva de la ventana de interés de manera que, una vez identificados, se cuente con información geográfica disponible para que sean representados a nivel espacial.

Respecto a la preparación de los insumos geográficos, se recomienda tener en cuenta que los valores se revisan previamente, de forma que se reclasifican de acuerdo con las necesidades para identificar los AVC de cada categoría. Por esto, los profesionales SIG que se encarguen de implementar la metodología propuesta deben contar con la experiencia suficiente tanto en las ciencias biológicas, como en el análisis espacial.

A partir de los resultados obtenidos con el proceso de zonificación de los AVC en humedales, se pueden plantear regulaciones claras por cada ventana de implementación. En este caso, se identificó, entre otras, la necesidad de construir un sistema de monitoreo para asegurar que las regulaciones pesqueras se cumplan y que los AVC se conserven de manera efectiva. Lo anterior, debe también considerar la planificación a largo plazo de estrategias de adaptación al cambio climático, ya que las condiciones ambientales y sociales se modifican con el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

Brown, E., Dudley, N., Lindhe, A., Muhtaman, D. R., Stewart, C. y Synnott, T. (2013). *Guía genérica para la identificación de Altos Valores de Conservación*. High Conservation Value Resource Network. <https://www.proforest.net/fileadmin/uploads/proforest/Documents/Publications/guia-generica-para-la-identificacion-de-altos-valores-de-conservacion.pdf>

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. (2024). *Apéndices I, II y III de la CITES*. <https://cites.org/esp/app/index.php>

Fundación Natura. (2022). *Armonización Plan de Manejo Distrito Regional de Manejo Integrado y sitio Ramsar Complejo Cenagoso de Zapatosa*. www.natura.org.co

Fundación Natura, Corporación Autónoma Regional del Cesar y Corporación Autónoma Regional del Magdalena.. (2022). *Armonización Plan de Manejo*

Distrito Regional de Manejo Integrado y Sitio Ramsar, Complejo Cenagoso de Zapatos.

- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2024). *The IUCN Red list of threatened species*. <https://www.iucnredlist.org/#:~:text=It%20divides%20species%20into%20nine,in%20the%20Wild%20and%20Extinct>
- Jung, M., Arnell, A., de Lamo, X., García-Rangel, S., Lewis, M., Mark, J., Merow, C., Miles, L., Ondo, I., Pironon, S., Ravilious, C., Rivers, M., Schepaschenko, D., Tallowin, O., van Soesbergen, A., Govaerts, R., Boyle, B. L., Enquist, B. J., Feng, X., ... Visconti, P. (2021). Areas of global importance for conserving terrestrial biodiversity, carbon and water. *Nature Ecology and Evolution*, 5(11), 1499–1509. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01528-7>
- Keith, D. A., Rodríguez, J. P., Rodríguez-Clark, K. M., Nicholson, E., Aapala, K., Alonso, A., Asmussen, M., Bachman, S., Basset, A., Barrow, E. G., Benson, J. S., Bishop, M. J., Bonifacio, R., Brooks, T. M., Burgman, M. A., Comer, P., Comín, F. A., Essl, F., Faber-Langendoen, D., ... Zambrano-Martínez, S. (2013). Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems. *PLoS ONE*, 8(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062111>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024, 6 de febrero). *Resolución 0126*. Por la cual se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el Comité Coordinador de Categorización de las Especies Silvestres Amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 52.674
- Mojica, J. I., Usma Oviedo, J. S., Alvarez León, R. y Lasso, C. A. (2012). *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia (2012)*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://repository.humboldt.org.co/bitstreams/14c6f9fa-ba82-43d0-8ab2-3c1779b6a905/download>
- Morales-Betancourt, M. A., Lasso, C. A., Páez, V. P. y Bock, B. C. (2015). *Libro rojo de reptiles de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <file:///D:/Downloads/Libro%20Rojo%20de%20Reptiles%20de%20Colombia%20Alta.pdf>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. <http://entomologia.rediris.es/sea>
- Renjifo, L. M., Amaya-Villarreal, A. M., Burbano-Girón, J. y Velásquez-Tibatá, J. (2016). *Libro rojo de aves de Colombia: Vol. II*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Renjifo, L. M., Gómez, M. F., Velásquez-Tibatá, J., Amaya-Villarreal, A. M., Kattan, G. H., Amaya-Espinel, J. D. y Burbano-Girón, J. (2014). *Libro rojo de aves de Colombia: Vol.*

I . Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-89.
<https://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aadea6d.pdf>