

NOVEDADES COLOMBIANAS

*Museo de Historia Natural
Departamento de Biología
Universidad del Cauca*



*ISSN Versión impresa- 0121-3520
ISSN Versión electrónico - 2145-5236
Vol. 18 - No 1
Enero - Junio 2023*

**REVISTA
NOVEDADES
COLOMBIANAS**

Revista Novedades Colombianas / Museo de Historia Natural Universidad del Cauca

Vol. 18 No 1- Enero - Junio 2023



ISSN Impreso - 0121-3520
ISSN Electrónico - 2145-5236

Novedades Colombianas es una publicación seriada adscrita al Museo de Historia Natural – Departamento de Biología de la Universidad del Cauca, que hace divulgación científica en Ciencias Biológicas como aporte a la construcción del conocimiento. Nuestra revista publica Artículos de Investigación originales e inéditos, Notas Cortas, producto de la investigación hecha en el territorio nacional e internacional que involucre a Colombia y la Región Neotropical, también publicamos Artículos de Revisión fruto de la trayectoria, madurez y consolidación investigativa.

Editor Jefe

Jimmy Alexander Guerrero Vargas
Departamento de Biología - FACNED
Universidad del Cauca, Colombia

Asistente Editorial

Laura Natalia Vaca Pardo
Vicerrectoría de Investigaciones
Universidad del Cauca, Colombia.

Director

Museo de Historia Natural
Luis Germán Gómez Bernal
Departamento de Biología - FACNED,
Universidad del Cauca, Colombia

Comité Editorial

Jimmy Guerrero
Departamento de Biología - FACNED
Universidad del Cauca, Colombia.

Luis Germán Gómez Bernal
Museo de Historia Natural.
Departamento de Biología - FACNED
Universidad del Cauca, Colombia.

María Cristina Gallego
Departamento de Biología- FACNED
Universidad del Cauca, Colombia..

Angélica María Mosquera Muñoz
Universidad del Cauca, Colombia.

Delly Rocío García
Universidad del Quindío, Colombia.

James Montoya
Universidad del Valle, Colombia.

Sandra Muriel
Politécnico Colombiano
Jaime Isaza Cadavid, Colombia.

Luis Carlos Pardo
Universidad del Pacífico, Colombia.

Danilo Elías de Oliveira
Universidad Federal
do Sul e Sudeste de Pará, Brasil

Johanna Gutiérrez Vargas
Facultad Ciencias de la Salud
Universidad Remington sede Medellín, Colombia.

Natalia Arbeláez
Grupo de Investigaciones PECET,
Universidad de Antioquia, Colombia.

María Fernanda González-Rojas
Facultad de Ciencias Naturales
Departamento de Ciencias Biológicas
Universidad ICESI, Colombia.

Fotografía carátula

Instalación de cercas eléctricas,
Fundación Procuena Río Las Piedras.

Diseño y diagramación

Santiago Burbano Martínez
Área de Desarrollo Editorial,
Universidad del Cauca

Costos de publicación

La publicación en la Revista Novedades Colombianas del Museo de Historia Natural, NO tiene costos para el envío, procesamiento (submission charges) y/o publicación de artículos.

Novedades Colombianas Journal / Natural History Museum University of Cauca

Volumen 18, Number 1
January – June 2023



Universidad
del Cauca®
Vigilada Mineducación



museo de historia natural
Universidad del Cauca

ISSN printed: 0121-3520

ISSN online: 2145-5236

The *Novedades Colombianas Journal* is a serial publication attached to the Natural History Museum – Department of Biology of the University of Cauca, which makes scientific dissemination in Biological Sciences as a contribution to the construction of knowledge. Our magazine publishes original and unpublished Research Articles, Short Notes, the product of research carried out in the national and international territory that involves Colombia and the Neotropical Region, we also publish Review Articles resulting from the trajectory, maturity and research consolidation.

Editor in chief

Jimmy Alexander Guerrero Vargas
Department of Biology – FACNED
University of Cauca, Colombia.

Editorial Assistant

Laura Natalia Vaca Pardo, Mag.
Vice-rectory for Investigations
University of Cauca, Colombia.

Director

Natural History Museum
Luis Germán Gómez Bernal
Department of Biology – FACNED
University of Cauca, Colombia.

Editorial committee

Jimmy Guerrero
Departamento de Biología – FACNED
Universidad del Cauca, Colombia.

Luis Germán Gómez Bernal
Museo de Historia Natural.
Departamento de Biología – FACNED
Universidad del Cauca, Colombia.

María Cristina Gallego
Departamento de Biología– FACNED
Universidad del Cauca, Colombia..

Angélica María Mosquera Muñoz
Universidad del Cauca, Colombia.

Delly Rocío García
Universidad del Quindío, Colombia.

James Montoya
Universidad del Valle, Colombia.

Sandra Muriel
Politécnico Colombiano
Jaime Isaza Cadavid, Colombia.

Luis Carlos Pardo
Universidad del Pacífico, Colombia.

Daniilo Elías de Oliveira
Universidad Federal
do Sul e Sudeste de Pará, Brasil

Johanna Gutiérrez Vargas
Facultad Ciencias de la Salud
Universidad Remington sede Medellín, Colombia.

Natalia Arbeláez
Grupo de Investigaciones PECET,
Universidad de Antioquia, Colombia.

María Fernanda González-Rojas
Facultad de Ciencias Naturales
Departamento de Ciencias Biológicas
Universidad ICESI, Colombia.

Cover Photography

Instalación de cercas eléctricas,
Fundación Procuena Río Las Piedras.

Design and layout

Santiago Burbano Martínez
Área de Desarrollo Editorial,
Universidad del Cauca

Publication costs

The publication in the *Journal Novedades Colombianas* of the Natural History Museum has NO costs for the submission, processing (submission charges) and / or publication of articles.

CONTENIDO

Nota Editorial	6
Revista Novedades Colombianas	
La tierra del corcho también es tierra de serpientes: fauna ofídica del municipio de Neira, Caldas, Colombia	9
Análisis de contenido estomacal de la sabaleta <i>Brycon henni</i> Eigenmann, 1913 en la parte baja del río Timbío, Cauca-Colombia	21
Primer registro de murciélago orejudo del género <i>Histiotus</i> (Chiroptera: Vespertilionidae) para el municipio de Salento, Quindío-Colombia	41
Diversidad de fitoplancton y estado de conservación de la Laguna San Rafael ubicada en el Parque Nacional Natural Puracé	53
Manejo adaptativo del territorio para la gestión hídrica en fuentes abastecedoras de Popayán, Cauca (Colombia)	83
Uso de los SIG en la zonificación ambiental de las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo, del municipio de Popayán-Cauca	115
Valoración económica de los bienes y servicios ambientales del humedal San Antonio de Padua en Popayán	147

Nota Editorial

Revista Novedades Colombianas

Volumen 18, número 1
Enero – Junio de 2023

Presentamos a la sociedad este nuevo volumen de la revista científica Novedades Colombianas, que sale al público en el marco de la conmemoración de los 87 años de fundación del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca, ubicado en Popayán.

En este museo se desarrollan procesos de investigación en biodiversidad y los resultados obtenidos se ven reflejados en sus salas de exhibición, divulgando y compartiendo el conocimiento en Ciencias Biológicas, Geología y Arqueología con toda la comunidad. El museo cuenta además con salas de referencia consultadas por investigadores nacionales e internacionales, y es, además, el laboratorio de ciencias naturales para todas las instituciones de educación básica primaria y secundaria de la región.

A través de la revista Novedades Colombianas, el Museo de Historia Natural y el Departamento de Biología de la Universidad del Cauca, comparten con el mundo los resultados de investigaciones realizadas en el departamento del Cauca y en el país, garantizando la socialización y transferencia de nuevos conocimientos resultado de procesos de investigación. Los artículos que hacen parte de este número han sido evaluados por expertos, quienes aseguran la calidad de los manuscritos en los que se dan a conocer hallazgos y experiencias en esta región de Colombia para su aplicación e implementación en otras latitudes, fortaleciendo así el intercambio de saberes entre la comunidad académica y la sociedad en este campo del conocimiento .

Agradecemos a los autores por elegir a Novedades Colombianas para socializar sus resultados de investigación con el mundo y a los evaluadores que contribuyeron a este volumen por garantizan la calidad de los artículos.

La tierra del corcho también es tierra de serpientes: fauna ofídica del municipio de Neira, Caldas, Colombia

The land of cork is also the land of snakes: ophidian fauna of the municipality of Neira, Caldas, Colombia

Jorge Alberto Zúñiga-Baos

Investigador Independiente.

E-mail: anfireptiles@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9067-8899>

Resumen

Uno de los grupos de fauna menos estudiados en el municipio de Neira (Caldas) son las serpientes. Con el objetivo de presentar un listado actualizado de serpientes para el municipio, se realizaron muestreos diurnos y nocturnos entre el 15 de octubre de 2022 y el 30 de marzo de 2023. Se registraron un total de 33 individuos pertenecientes a 18 especies, 15 géneros y cuatro familias. La mayor representatividad de especies corresponde a la familia Colubridae con 16 spp. Con estos resultados, la riqueza de especies para el municipio de Neira - Caldas está representada actualmente por 24 especies.

Palabras clave: Atractus, culebras, conservación, región andina, reptiles.

Abstract

One of the least studied groups of fauna in the municipality of Neira (Caldas) are snakes. In order to present an updated list of snakes for the municipality, diurnal and nocturnal sampling was carried out between October 15, 2022 and March 30, 2023. A total of 33 individuals belonging to 18 species, 15 genera and four families were recorded. The highest representation of species corresponds to the Colubridae family with 16 spp. With

Historia del artículo

Fecha de recepción:
19-05-2023

Fecha de aceptación:
06-07-2023

DOI: 10.47374/
novcol.2023.v18.2315

these results the species richness for the municipality of Neira - Caldas is currently represented by 24 species.

Keywords: Atractus, snakes, conservation, Andean region, reptiles.

Introducción

El municipio de Neira (Caldas) alberga una gran diversidad paisajística, riqueza hídrica (Arboleda, 2016) y faunística (Escobar-Lasso, 2014; Rojas-Morales *et al.*, 2014; Ramírez-Chaves *et al.*, 2022; Zúñiga-Baos, 2023) sin embargo, esta última ha sido muy poco estudiada. Uno de los grupos de fauna menos estudiados en el municipio son las serpientes, hasta hace poco la riqueza específica estaba representada por cuatro especies: *Atractus biseriatus* Prado, 1941; *Chironius monticola* Roze, 1952; *Imantodes cenchoa* (Linnaeus, 1758) y *Urotheca decipiens* (Günther, 1893) (Rojas-Morales *et al.*, 2014; Ramírez-Chaves *et al.*, 2022). En un trabajo publicado en 2023 sobre mortalidad de serpientes en el área urbana del municipio de Neira, se reportaron ocho especies más: *Atractus lehmanni* Boettger, 1898; *Atractus manizalesensis* Prado, 1940; *Atractus titanicus* Passos, Arredondo, Fernandes y Lynch, 2009; *Clelia equatoriana* (Amaral, 1924); *Dipsas sanctijoannis* (Boulenger, 1911); *Erythrolamprus bizona* Jan, 1863; *Oxyrhopus petolaris* (Linnaeus, 1758) y *Bothriechis schlegelii* (Berthold, 1846) (Zúñiga-Baos, 2023); con lo cual la riqueza de especies para el municipio actualmente está representada por 12 especies de serpientes.

Con el objetivo de obtener un listado actualizado sobre la ofidiofauna del municipio de Neira, se realizaron muestreos diurnos y nocturnos en las diferentes coberturas del territorio, contribuyendo al conocimiento sobre este grupo de fauna que a futuro aporte a generar estrategias para su conservación.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en el municipio de Neira, departamento de Caldas, Colombia. Está ubicado en la región Centro - Sur del departamento, sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central, a 21 km de su capital, Manizales. Está localizado a los 5°10'11" N y 76°32'15" W, a una altura 1969 msnm. Cuenta con una extensión aproximada de 364 km², de los cuales 1,5 pertenecen a zona urbana (Fig. 1). El municipio posee desde una topografía montañosa a llana, con temperatura media de 18° C; las lluvias presentan régimen de distribución bimodal, el cual comprende dos períodos de lluvias altas en abril-mayo, octubre- noviembre y dos períodos de lluvias bajas en julio-agosto y enero-febrero. El municipio de Neira comprende diversos hábitats y coberturas, un alto porcentaje son áreas dedicadas a cultivos agrícolas y coberturas de pastos utilizados principalmente para la ganadería; presenta además un área de bosques de 5609 H concentradas principalmente en la zona fría y de páramo del municipio (Arboleda, 2016 en Zúñiga-Baos, 2023).

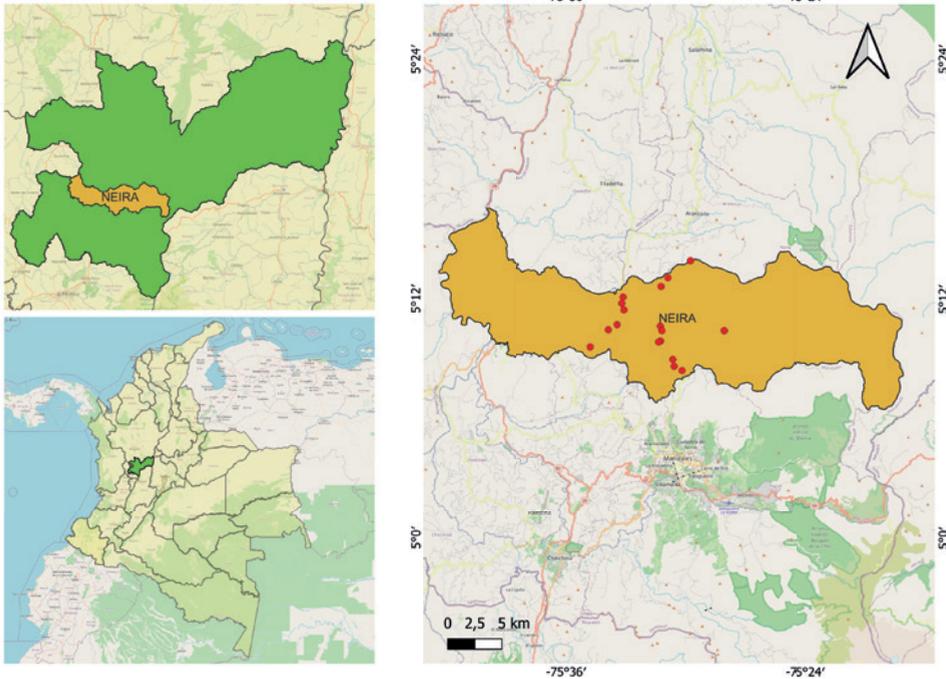


Figura 1. Localización del área de estudio, municipio de Neira, departamento de Caldas-Colombia. Los puntos rojos indican la ubicación de los registros.

Métodos

Los muestreos se realizaron entre el 15 de octubre de 2022 y el 30 de marzo de 2023, con un observador y un total de 161 horas durante todo el estudio. Se utilizó la técnica de encuentros visuales (VES) con énfasis en microhábitats (Manzanilla y Péfaur, 2000), a través de recorridos en horarios diurnos y nocturnos en las diferentes coberturas (pastos limpios, pastos arbolados, pastos enmalezados, vegetación secundaria alta, bosque denso bajo y bosque de galería o ripario). Se tuvo en cuenta el registro esporádico de individuos

encontrados muertos por acción directa del hombre, de los cuales se colectaron dos individuos, que serán depositados en la colección herpetológica del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca (MHNUC), bajo los códigos de colección JAZB-0203 y JAZB-0204. La colecta de los otros individuos registrados muertos no fue posible debido a su alto grado de descomposición. Adicional a lo anterior, se tuvieron en cuenta dos reportes hechos por grupos de identificación de serpientes en Colombia mediante la herramienta ciencia ciudadana, útil para el estudio de serpientes (Angarita-Sierra et al. 2022; Zúñiga-Baos et

al. 2023). Para cada individuo detectado se revisaron caracteres diagnósticos para la identificación taxonómica, distribución y el uso de claves especializadas: Peters y Orejas-Miranda (1970); Pérez-Santos y Moreno (1988); Passos et al. (2009); Rojas-Morales y González-Durán (2011); Wallach et al. (2014). Se asumió la reciente propuesta taxonómica para el género *Leptophis* (Torres-Carvajal y Terán, 2021); se tomaron datos de hora y fecha de observación, georreferenciación y registro fotográfico. Los diferentes niveles de taxones de los individuos registrados se asumieron con base en la plataforma The Reptile Database (Uetz et al. 2023).

Resultados

Se registraron un total de 33 individuos, agrupados en 18 especies, 15 géneros y cuatro familias (Tabla 1). La mayor representatividad de especies corresponde a la familia Colubridae con 16 spp; las especies más comunes fueron *Atractus lehmanni* Boettger, 1898 y *Lampropeltis micropholis* Cope, 1860, con cinco y tres individuos respectivamente. Seis especies tuvieron registros únicos. El género *Atractus* es el más representativo con nueve individuos, correspondientes al 27% de los individuos registrados.

Tabla 1. Especies de serpientes registradas en el municipio de Neira, departamento de Caldas. Contiene registros previos de otros autores.

Taxón	Tipo de registro			Total	Referencia
	Observado	Muerto	Ciencia ciudadana		
Colubridae					
<i>Atractus biseriatus</i> Prado, 1941	2	0	0	2	(Ramírez-Chaves et al., 2022); (Zúñiga-Baos, 2023); Este trabajo
<i>Atractus lehmanni</i> Boettger, 1898	4	1	0	5	(Zúñiga-Baos, 2023); Este trabajo
<i>Atractus manizalesensis</i> Prado, 1940	2	0	0	2	(Zúñiga-Baos, 2023); Este trabajo
<i>Atractus titanicus</i> Passos, Arredondo, Fernandes & Lynch, 2009	0	0	0	-	(Zúñiga-Baos, 2023)
<i>Chironius monticola</i> Roze, 1952	1	0	0	1	(Rojas-Morales et al. 2014); (Zúñiga-Baos, 2023); Este trabajo

<i>Clelia equatoriana</i> (Amaral, 1924)	0	0	0	-	(Zúñiga-Baos,2023)
<i>Dendrophidion bivittatus</i> (Duméril, Bibron y Duméril, 1854)	1	0	0	1	Este trabajo
<i>Dipsas sanctijoannis</i> (Boulenger, 1911)	1	0	0	1	(Zúñiga-Baos, 2023); Este trabajo
<i>Erythrolamprus bizona</i> Jan, 1863	0	0	0	-	(Zúñiga-Baos,2023)
<i>Erythrolamprus epinephalus</i> (Cope, 1862)	1	0	0	1	Este trabajo
<i>Imantodes cenchoa</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0	-	(Rojas-Morales et al. 2014); (Zúñiga-Baos,2023)
<i>Lampropeltis micropholis</i> Cope, 1860	3	0	0	3	Este trabajo
<i>Leptodeira ornata</i> (Bocourt, 1884)	1	1	0	2	Este trabajo
<i>Leptophis occidentalis</i> (Günther, 1859)	1	1	0	2	Este trabajo
<i>Mastigodryas danieli</i> Amaral, 1935	1	1	0	2	Este trabajo
<i>Mastigodryas pleei</i> (Duméril, Bibron y Duméril, 1854)	1	0	0	1	Este trabajo
<i>Oxyrhopus petolarius</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	0	2	(Zúñiga-Baos,2023); Este trabajo
<i>Phrynonax poecilonotus</i> (Günther, 1858)	1	0	1	2	Este trabajo
<i>Spilotes pullatus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	0	1	Este trabajo
<i>Tantilla melanocephala</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	1	2	Este trabajo
<i>Urotheca decipiens</i> (Günther, 1893)	0	0	0	-	(Ramírez-Chaves et al., 2022)
Elapidae					

<i>Micrurus mipartitus</i> (Duméril, Bibron y Duméril, 1854)	0	2	0	2	Este trabajo
Leptotyphlopidae					
<i>Trilepida joshuai</i> (Dunn, 1944)	1	0	0	1	Este trabajo
Viperidae					
<i>Bothriechis schlegelii</i> (Berthold, 1846)	0	0	0	-	(Zúñiga-Baos, 2023)
TOTAL					33

Dos registros fueron obtenidos mediante Ciencia Ciudadana (*Tántilla melanocephala* y *Phrynonax poecilonotus*). El origen de los registros se puede ver en los siguientes enlaces: *Tántilla melanocephala* <https://m.facebook.com/groups/561356504597828/permalink/1375401019860035/?mibextid=Nif5oz> *Phrynonax poecilonotus* <https://www.facebook.com/groups/171691283172248/permalink/1511288342545862/?mibextid=Nif5oz>

Discusión

El estudio de las serpientes en Colombia ha aumentado considerablemente en los últimos años y es abordado desde diferentes campos, a nivel poblacional, ecológico, filogenético, molecular, venómica y las constantes revisiones taxonómicas, que han aumentado significativamente el registro de la riqueza de especies en el país (Zúñiga-Baos, 2021). Actualmente la riqueza de especies en Colombia está representada mediante 334 especies (Vera-Pérez, 2019; Meneses-Pelayo, 2019; Angarita-Sierra et al. 2022; Uetz et al. 2023). En el reciente trabajo Listado de los reptiles (Reptilia) del departamento de Caldas, Colombia, se

reportan 61 especies de serpientes (Ramírez-Chaves et al., 2022), de las cuales cuatro especies están registradas para el municipio de Neira, sin embargo, esta riqueza aumentó a 12 especies para el municipio de Neira, teniendo en cuenta el trabajo de Zúñiga-Baos (2023). Estas actualizaciones evidencian como los constantes muestreos en un área geográfica aumentan el conocimiento de la riqueza de especies. Mediante el presente trabajo se obtuvieron 12 nuevos registros, con lo cual la riqueza de especies para el municipio de Neira está representada actualmente por 24 especies de serpientes, lo que corresponde a un 39,43% de la riqueza reportada para todo el departamento (Ramírez-Chaves et al., 2022).



Figura 2. Algunas de las serpientes registradas en el municipio de Neira-Caldas, Colombia. a) *Dendrophidion bivittatus*, b) *Trilepida joshuai*, c) *Mastigodryas pleei* (Juvenil), d) *Leptophis occidentalis*.

Las especies con mayor registro de observación pertenecen al género *Atractus* con nueve individuos, de los cuales la especie más abundante fue *Atractus lehmanni* con cinco registros. Esta especie se considera una serpiente común en la zona, con asociación a hábitats antropizados y la cercanía de estos

con las vías. La especie ha sido registrada principalmente en coberturas de pastos limpios y pastos arbolados (Zúñiga-Baos, 2023), circunstancias que podría aumentar la frecuencia de los registros al ser más fácilmente detectadas.

De los 33 individuos reportados, siete fueron registrados por muerte, siendo un panorama general en el territorio colombiano. El desconocimiento de pobladores sobre este grupo de fauna advierte que, la mayoría de los encuentros de personas con una serpiente, termina en muerte de los individuos (Zúñiga-Baos, 2021). Es importante mencionar que, de las 24 especies de serpientes, solo dos son de importancia médica *Bothriechis schlegelii* (Berthold, 1846) y *Micrurus mipartitus* (Duméril, Bibron y Duméril, 1854). Las demás no representan peligro para la salud humana. Por todo lo anterior, es necesario el desarrollo de campañas de divulgación y concientización que permitan reconocer las características de identificación que eviten muertes intencionadas sobre taxones que no representan peligro, y evitar accidentes con especies venenosas.

Finalmente, este listado actualizado muestra una riqueza importante sobre dicho grupo faunístico en el municipio de Neira, el cual podría aumentar si se realizan mayores esfuerzos de muestreo. Con los resultados obtenidos se espera motivar a la comunidad científica a realizar más estudios en este municipio y así aumentar el conocimiento sobre este grupo de fauna.

Referencias

Angarita-Sierra, T., Montaña-Londoño, L.F y Bravo-Vega C.A. 2022. ID please: Evaluating the utility of Facebook as a source of data for snake research and conservation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94(Suppl. 3): e20211043 <https://doi.org/10.1590/0001-376520220211043>

Angarita-Sierra, T., Cubides-Cubillos, S.D y Hurtado-Gómez J.P. 2022. Hidden in the highs: Two new species of the enigmatic genus of toad headed pitvipers of the genus *Bothrocophias*. *Vertebrate Zoology*, 72, 971–996. Disponible en: <https://doi.org/10.3897/vz.72.e87313>

Arboleda, N.V. 2016. Apoyo a la gestión del riesgo del municipio de Neira, Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD). Alcaldía Municipal. Disponible en: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/36970/PMGRD.Neira.2016.pdf?sequence=1>

Escobar-Lasso, S., Cerón-Cardona, J., Castaño-Salazar, J.H., Mendieta-Giraldo, L y Ospina-Herrera, O. 2014. Los felinos silvestres del departamento de Caldas, en la región andina de Colombia: composición, distribución y conservación. *Therya* [online], 5(2): 575-588. <https://doi.org/10.12933/therya-14-170>.

Manzanilla, J. y Péfaur, J. E. 2000. Consideraciones sobre métodos y técnicas de campo para el estudio de anfibios y reptiles. *Revista de Ecología Latinoamericana*, 7(1-2):17-30. Disponible en: https://www.academia.edu/5525325/Consideraciones_sobre_metodos_y_tecnicas_de_campo_para_el_estudio_de_anfibios_y_reptiles

Meneses-Pelayo, E. y Passos, P. 2019. New Polychromatic Species of *Atractus* (Serpentes: Dipsadidae) from the Eastern Portion of the Colombian Andes. *Copeia*. 107 (2): 250-261. Disponible en: <https://doi.org/10.1643/CH-18-1634>.

Passos, P., Arredondo, J.C., Fernández, R. y Lynch J. D. 2009. Three New *Atractus* (Serpentes: Dipsadidae) from the Andes of Colombia. *Copeia*. 3(1):425-436. Disponible en: <https://doi.org/10.1643/CH-08-063>

Pérez-Santos, C. y Moreno, A. G. 1988. Ofidios de Colombia. *Boll. Mus. Reg. Sci. Nat. Monografía VI*. 517 pp.

Peters, J.A. y Orejas-Miranda, B. 1970. Catalogue of the Neotropical Squamata: Part I. Snakes. *United States National Museum Bulletin*, 297: 1-347. Disponible en: <https://www.biodiversitylibrary.org/page/7868973#page/5/mode/tup>

Ramírez-Chaves, H.E., Henao-Osorio, J.J., Cardona-Galvis, E.A., Arias-Monsalve H.F y Rojas-Morales J.A.2022. Listado de los reptiles (Reptilia) del departamento de Caldas, Colombia. Universidad de Caldas. Disponible en: <https://doi.org/10.15472/vxjiiis>

Rojas-Morales, J. A. y González-Durán, G. A. 2011. Description of the colouration in life of *Tricheilostoma joshuai* (Serpentes, Leptotyphlopidae). A species tolerant of disturbed habitats? *Salamandra* 47 (4): 237-240

Rojas-Morales, J.A., Arias-Monsalve, H.F y González-Durán, G.A. 2014. Anfibios y reptiles de la región centro-sur del departamento de Caldas, Colombia. *Biota Colombiana*, 15(1):73-93. Disponible en: <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/309>

Torres-Carvajal, O. y Terán, C.2021. Molecular phylogeny of Neotropical Parrot Snakes (Serpentes: Colubrinae: Leptophis) supports underestimated species richness. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 164:107267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107267>

Uetz, P., Freed, P., Aguilar, R., Reyes, F y Hošek, J. The Reptile Database. 2023. Disponible en: <http://www.reptile-database.org/>

Vera-Pérez L.E. 2019. A new species of *Sibon* Fitzinger, 1826 (Squamata: Colubridae) from Southwestern Colombia. *Zootaxa*. 2019; 4701 (5): 443-453. Disponible en: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4701.5.4>

Wallach, V., Williams, K. L. y Boundy, J. 2014. Snakes of the World: A Catalogue of Living and Extinct Species. Taylor and Francis, CRC Press. 1237 pp.

Zúñiga-Baos, J. A. 2021. Serpientes registradas en el municipio de Plato, Magdalena, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 13(2), e862. Disponible en: <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n2.2021.862>

Zúñiga-Baos, J.A. 2023. Mortalidad de serpientes en el área urbana del municipio Neira, Caldas, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 15(1): e968. Disponible en: <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/968/1054>

Zúñiga-Baos, J.A., Barrera-Ocampo, F y Maldonado, M. 2023. Utilizando ciencia ciudadana para ampliar el conocimiento de la dieta ofiófaga de *Erythrolamprus bizona* Jan 1863 (Squamata, Colubridae), con nuevos ítem presa registradas en Colombia. *Boletín Chileno de Herpetología*, 10: X-X. Disponible en: <http://www.boletindeherpetologia.com/archivos.html>

Análisis de contenido estomacal de la sabaleta *Brycon henni* Eigenmann, 1913 en la parte baja del río Timbío, Cauca-Colombia

Analysis of the stomach contents of sabaleta *Brycon henni* Eigenmann, 1913 in the lower part of the Timbío river, Cauca-Colombia

Daniel Feriz García ¹,
German López Ulchur ²,
Nicole Estefanía Ibagón ³

¹*Unidad de investigación en ecología tropical UNIET, Ecología,
Fundación Universitaria de Popayán – FUP.
E-mail: daniferiz@hotmail.com*

²*Semillero de investigación SERENDIPIAS, estudiante Fundación
Universitaria de Popayán – FUP.
E-mail: galu3000@gmail.com*

³*Docente programa de Ecología,
Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail nicole.ibagon@docente.fup.edu.co*

Resumen

Entre los meses de junio a diciembre de 2016 y enero a febrero de 2017 se realizó un estudio del estado bioecológico de la especie *Brycon henni* en la parte baja del río Timbío, con la finalidad de estudiar sus hábitos alimenticios en relación con el desarrollo y el sexo de la especie. Para ello, se definieron tres estaciones de muestreo de 100 m. cada una en la parte

Historia del artículo

Fecha de recepción:
27-04-2023
Fecha de aceptación:
08-08-2023

DOI: 10.47374/
novcol.2023.v18.2297

baja del río Timbío; la recolecta de peces se realizó utilizando métodos como la red de arrastre y la atarraya en cada una de las estaciones seleccionadas, con igual intensidad de muestreo por estación. Con respecto al contenido alimenticio encontrado en el sistema digestivo (esófago), en promedio el 49% fue material animal, especialmente larvas de insectos acuáticos, el 29% fue detritus y el 21% fue material animal como diatomeas, algas verdes y musgo. En general existen diferencias significativas en el consumo del recurso entre estadios de desarrollo y temporadas (*kruskall*, $p \leq 0,05$), siendo los alevinos y juveniles quienes consumen menor material vegetal con respecto al estadio adulto, mientras que las hembras parecen depredar una mayor cantidad de larvas de insectos. En cuanto al recurso animal, la mayor cantidad de organismos encontrados fueron de la orden díptera (37%), seguida de larvas de tricópteros (23%), coleópteros (13%) y hemípteros (12%). Se evidenció una predilección por las larvas de tricópteros y dípteros entre los organismos más pequeños, mientras que los adultos prefieren los coleópteros y hemípteros, especialmente los machos. Se puede corroborar que, al igual que muchos de sus parientes, la especie *B. henni* es omnívora con preferencias predatoras, especialmente de insectos acuáticos, variando su consumo dependiendo del estado de desarrollo, las temporadas y, en menor medida, del sexo de los organismos.

Palabras clave: sabaleta, dieta, macroinvertebrados acuáticos, hábitos alimenticios.

Abstract

Between the months of June to December 2016 and January to February 2017, a study of the bioecological status of the species *Brycon henni* in the lower part of the Timbío River was carried out, with the aim of studying their feeding habits in relation to the development and sex of the species. For this purpose, three sampling stations of 100 m. each were defined in the lower part of the Timbío river; fish collection was carried out using methods such as trawl net and the casting in each of the selected stations, with equal sampling intensity per station. Regarding the food content found in the digestive system (esophagus), on average 49% was animal material, especially aquatic insect larvae, 29% was detritus and 21% was animal material such as diatoms, green algae and moss. In general, there are significant differences in resource consumption between developmental stages and seasons (*kruskall*, $p \leq 0.05$), with fry and juveniles consuming less plant material with respect to the adult stage, while females appear to prey on a greater amount of insect larvae. As for the animal resource, the greatest number of organisms found were of the order Diptera (37%), followed by Trichoptera larvae (23%), Coleoptera (13%) and Hemiptera (12%). There was evidence of a predilection for Trichoptera and Diptera larvae among the smaller organisms, while adults prefer Coleoptera and Hemiptera, especially males. It can be corroborated that, like many of its relatives, the species *B. henni* is omnivorous with predatory preferences,

especially for aquatic insects, varying its consumption depending on the stage of development, the seasons and, to a lesser extent, the sex of the organisms.

Keywords: *Sabaleta*, diet, aquatic macroinvertebrates, eating habits.

Introducción

La región andina es una de las zonas con mayor riqueza en recursos hídricos y mayor cantidad de especies ícticas nativas de interés comercial y deportivo, como es el caso de la sabaleta *Brycon henni*, la cual se distribuye en la región central de Colombia en el Alto y Bajo río Cauca (Maldonado *et al*, 2012), así como en el río Magdalena, y ríos de la región Pacífica, restringiéndose su rango de distribución entre los 1000–1500 msnm (Botero–Botero y Ramírez–Castro, 2010; Maldonado *et al*, 2005).

En cuanto a su conservación y aprovechamiento, se plantea la necesidad de investigar la especie *Brycon henni* para su cultivo intensivo, debido a que se la considera como una especie promisoría a futuro en la acuicultura (Montoya López *et al*, 2006; Botero *et al*, 2010). Adicionalmente, se han desarrollado estudios en relación con la adaptación y crecimiento en cautiverio de la sabaleta (*Brycon* sp.), además de su comportamiento reproductivo, desarrollo gonadal, comportamiento espermático e influencia de factores ambientales sobre estos aspectos (Tabares, *et al*, 2005; Montoya López *et al*, 2006; Lenis–Sucerquia *et al*, 2015), con el fin de aprovecharla económicamente.

Este trabajo es un aparte del proyecto de investigación titulado “Estado bioecológico de la sabaleta *Brycon henni* (Eigmann, 1913), en la cuenca baja del río Timbío, sector Las Juntas, municipio de Timbío, departamento del Cauca, Colombia”, el cual comprende el estado bioecológico de esta especie, descripción de su comportamiento, hábitat y alimentación, su ciclo biológico, ecología en interacción con los parámetros físico-químicos y biológicos del ecosistema, contribuyendo al conocimiento y estado de una población o comunidad y su estrecha relación entre el ser humano, ambientes y poblaciones de peces (Tello *et al*, 1992; Terezinha Bennemann *et al*, 2005). Esto es de vital importancia para lograr un aprovechamiento *ex situ*, ya que se necesita como base el conocimiento científico del comportamiento en el desarrollo de los individuos (tallas), desarrollo reproductivo, temporadas de apareamiento y desove, proporción de géneros, tipo y cantidad de alimento consumido y los diferentes parámetros medioambientales que puedan influir en la ecología de estos organismos.

De acuerdo con lo anterior, la descripción de los hábitos alimenticios permite establecer los flujos energéticos dentro de un ecosistema, determinando la importancia de la oferta medioambiental para el sostenimiento y mantenimiento de las poblaciones de peces (Guevara *et al*, 2007) y las relaciones depredador-presa que determinan las dinámicas tróficas de un ecosistema (García-Alzate y Román-Valencia, 2008). Estos estudios pueden aportar al establecimiento de estrategias de alimentación y dieta

artificial, temporadas de capturas y vedas, estrategias de conservación *in situ* y hábitats, además de planes de repoblamiento.

Si bien, la información publicada sobre los aspectos bio-ecológicos de la sabaleta *B. henni*, son pocos, se destacan las investigaciones de Botero-Botero y Ramírez-Castro (2011); Montoya *et al.*, (2006); Maldonado *et al.*, (2005, 2012); Lasso *et. al.*, (2011), los cuales determinaron la ecología trófica de la sabaleta *Brycon henni*, concluyendo que la especie presenta una dieta generalista con tendencia al consumo de larvas y ninfas de insectos acuáticos. Sin embargo, no hay suficientes estudios sobre los cambios ontogénicos de los hábitos alimenticios y cómo cambian estos hábitos a través de las temporadas ambientales, y las diferencias de alimentación con respecto al sexo de los organismos.

La presente es una investigación exploratoria que pretende brindar información del comportamiento alimenticio de la especie íctica *B. henni* en relación con el desarrollo de los individuos, el sexo y las diferentes temporadas de muestreo para determinar el comportamiento alimenticio de la especie en el área de estudio con respecto al consumo de insectos acuáticos. De esta manera, se contribuye a la generación de estrategias de conservación y aprovechamiento de la especie.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El ambiente natural del municipio de Timbío se precia de tener una red hidrológica que tributa a dos grandes cuencas hidrográficas de Colombia (Fig. 1): la cuenca del río Cauca y la cuenca del río Patía. La primera drena sus aguas a la vertiente del Caribe y la segunda a la vertiente del Pacífico. La cuenca del río Patía la conforman el sistema hídrico de la zona sur del municipio, donde se localizan las subcuencas de los ríos Timbío, Piedras y Quilcacé; y microcuencas como las quebradas La Chorrera, Palmichal, Loma Larga, San Pedro, La Alfonsa, Pambío, Las Cruces y Quilichao, entre otras.

Recolecta de peces

La captura de los individuos de peces se realizó mediante recolecta directa utilizando una red de arrastre de 10m x 2m realizando tres arrastres sucesivos en los diferentes tramos de muestreo dentro del río Timbío; adicionalmente en las zonas profundas se realizaron tres lances con atarraya de acuerdo a lo propuesto por Maldonado-Ocampo *et. al.*, (2005) en su libro Peces de los Andes Colombianos. Estas jornadas de captura se realizaron en tres tramos representativos de aproximadamente 100 m cada uno, entre los meses de julio, agosto, septiembre, diciembre de 2016 y enero y febrero de 2017, tratando de abarcar las temporadas de altas y bajas precipitaciones (Fig. 2).

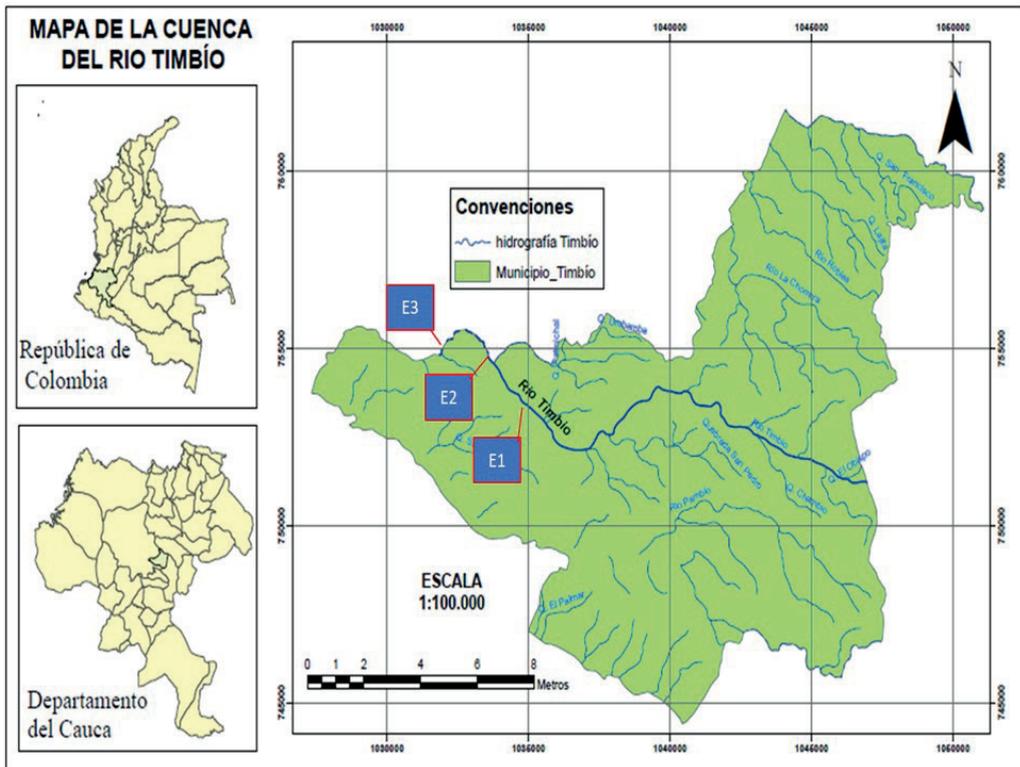


Figura 1: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en la red hidrográfica del municipio de Timbío. Fuente: López, G. (2016), modificado por este estudio.

Posterior al proceso de sacrificio de los ejemplares colectados, los peces fueron dispuestos en bolsas plásticas herméticas y se fijaron en una solución de formol al 10%, neutralizado con borato de sodio con el fin de evitar la descomposición de los ejemplares y se refrigeraron *in situ* (Maldonado-Ocampo *et. al*, 2005). Una vez fijados, se transportaron al Laboratorio de Ciencias Naturales de la Fundación Universitaria de Popayán para su identificación, conteo, medición y análisis estomacales. Los individuos fueron depositados en la colección de referencia de

docencia que tiene el programa de Ecología en la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrarias de la institución.

Análisis del tracto digestivo

Los organismos fueron agrupados de acuerdo a su tamaño en peces pequeños o larvas (0 - 1,6 cm), juveniles (1,7 cm - 6,9 cm) y adultos (≥ 7 cm). Posteriormente fueron disectados por medio de un corte desde la zona anal hasta la boca de cada uno, con el fin de extraer el sistema



Figura 2.A. Estación 1; B. Estación 2 sector Las Juntas; C. y D. redes de pesca utilizadas en las jornadas.

digestivo anterior (estómago y esófago), al cual se le extrajo su contenido interno para hacer la identificación y conteo del material por medio de un estereoscopio Nikon SMZ445 y microscopio Nikon E100 con aumentos 4X-10X y 40X.

Para el análisis estomacal se tomó en cuenta el protocolo realizado por Marrero (1994), donde se utilizó el método de frecuencia de aparición (%f) que es el % de frecuencia de ocurrencia de un tipo de alimento, en el total de estómagos examinados y la

abundancia porcentual (%N) de cada tipo de macroinvertebrado encontrado.

El material consumido (Fig. 3) se categorizó de acuerdo a lo expuesto por Maldonado-Ocampo et. al. (2006) de la siguiente forma: 1) restos de material vegetal: hojas, tronquitos, flores y semillas; 2) restos de peces: peces parcialmente digeridos, escamas, radios, vértebras, espinas, tejido y aletas; 3) peces: diferentes familias y géneros; 4) invertebrados: terrestres (en su mayoría artrópodos) y acuáticos, incluyendo adultos y larvas; 5) anélidos; 6) restos de crustáceos y 7) otros: plumas de aves y detritus. Los macroinvertebrados registrados se identificaron utilizando como apoyo el uso de claves y guías taxonómicas como Roldán, (1993), Merrit y Cummins, (1996), Tomanova et al, (2006), Domínguez y Fernández (2009).

Análisis de datos

Se realizó una comparación de la frecuencia de ocurrencia del alimento consumido

(% material animal, % material vegetal y % detritus), entre diferentes tamaños del animal (fase de desarrollo) y entre los sexos para poder evidenciar tendencias alimenticias o hábitos por medio de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Adicionalmente, por medio de una prueba de chi cuadrado (χ^2) se comparó la dependencia entre las variables independientes (sexo y fases de desarrollo) con las dependientes (órdenes de insectos consumidos) por medio del software SPSS ver. 23. Adicionalmente, se calculó los índices de diversidad de Shannon, dominancia de Simpson y similitud de Bray-Curtis a la dieta animal de los peces recolectados por medio del software PAST 3.0.

Resultados y discusión

Se capturaron un total de 95 individuos durante el periodo de muestreo, categorizados por fase de desarrollo y sexo, encontrándose con 26 alevinos, 35

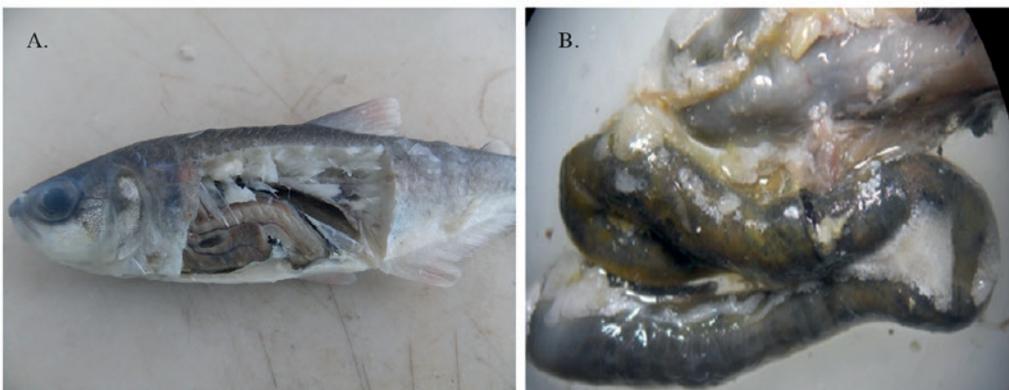


Figura 3. Extracción del sistema digestivo y contenido estomacal de los organismos recolectados. a. Corte de la pared izquierda del vientre. b. Sistema digestivo extraído.

juveniles y 34 adultos, el 64,2% representado por alevinos y juveniles; y el 35,8% por adultos (Tabla 1). En cuanto al sexo se obtuvieron 15 hembras, 19 machos y 61 individuos no identificados debido a su bajo estado de desarrollo.

Análisis del contenido estomacal

Dentro de los 95 tractos digestivos analizados de *B. Henni* se evidenció en mayor proporción restos de macroinvertebrados acuáticos, seguido de detritus y material vegetal como algas y musgos. De acuerdo a la distribución porcentual de los ítems alimenticios la sabaleta se puede clasificar como generalista (omnívora) con predilección carnívora, especialmente al consumo de macroinvertebrados acuáticos tal como lo registran estudios realizados por Maldonado-Ocampo *et al.* (2005), Montoya *et al.* (2006) y Botero-Botero y Ramírez-Castro, (2010) entre otros (Tabla 1).

En general se registró una diferencia significativa (Kruskall, $p < 0,001$) en el porcentaje de recurso animal consumido entre los diferentes estados de desarrollo, siendo los individuos de menor tamaño o larvas en los que más se evidencio el consumo de este ítem, disminuyendo el consumo a medida que el organismo crece; de forma contraria fue el consumo del material vegetal el cual aumentó significativamente (Kruskall, $p = 0,013$) en los organismos de tallas mayores (Tabla 2). En los organismos de menos tamaño (larvas) se registró una cantidad mayor de detritus, el cual disminuyó a medida que los organismos iban madurando, lo cual fue reportado en los estudios Botero-Botero y Ramírez-Castro, (2010), ya que al crecer los organismos aumenta su capacidad de capturar organismos vivos ampliándose su dieta alimenticia.



Figura 4. A. Especimen de *Brycon henni* colectado en la zona de muestreo. B. distribución de tallas colectadas.

Tabla 1. Medidas descriptivas de la dieta de la especie *B. henni*

Alimento	N	Máximo	Media	Desv. típ.
% material vegetal	95	80,00	21,58	19,26
% material animal	95	90,00	49,47	20,80
% detritus	95	100,00	29,05	19,36
Diptera	95	14,00	1,34	2,09
Hemíptera	95	5,00	0,53	0,93
Coleóptera	95	4,00	0,55	0,97
Plecóptera	95	1,00	0,02	0,14
Hephemeróptera	95	2,00	0,20	0,52
Odonata	95	1,00	0,08	0,28
Trichoptera	95	5,00	0,96	1,24
Himenóptera	95	4,00	0,14	0,54
Namathomorpha	95	3,00	0,34	0,71
No identificado	95	5,00	1,31	1,41

Del total de los organismos recolectados, solo a los adultos se les pudo determinar su sexo; los organismos restantes, debido a su pequeño tamaño y desarrollo (larvas y alevinos), se tratan como no identificados. No se registró diferencias estadísticas en el consumo de alimento por sexo (Kruskall. $P \geq 0,05$), sin embargo, las hembras son las que menor proporción de material vegetal consumieron, situación contraria ocurre con los machos; por otra parte, en las hembras se registró el mayor porcentaje de insectos acuáticos consumidos.

Es posible que la variación en el consumo de alimento de los peces esté asociado a su régimen reproductivo y migratorio que modifica sus requerimientos nutricionales, siendo las hembras las que más insectos consumen, relacionado posiblemente a un mayor requerimiento debido a sus demandas fisiológicas y reproductivas (Ibarra-Trujillo y García-Alzate, 2017); en el caso de *B. henni*, el pico reproductivo coincide con los meses de lluvia o de seca, dependiendo del estudio (Builes y Urán, 1974; Cala, 1987; Flórez, 1999). Adicionalmente se ha reportado que este grupo de peces presenta migraciones relacionadas con las épocas de

apareamiento y desove, correlacionadas con las épocas de pluviosidad; esto hace que *B. henni* aumente su actividad depredadora en las épocas más favorables debido a que puede acceder a mejores lugares en términos de profundidad, temperatura, oxígeno disuelto y penetración lumínica (Ferriz, Bentos y Fernández, 2010).

Las diferentes temporadas de recolecta influenciaron significativamente (Kruscall, $p=0,014$) el consumo del material animal aumentando su porcentaje del mes de julio al mes de febrero (50%-77%), a excepción del

mes de septiembre, en donde se registró el menor consumo de material animal, al contrario del consumo del material vegetal y detritus, los cuales no fueron diferentes entre estos meses (Kruscall, $p>0,05$) (Fig. 5).

El aumento en el consumo del material animal está relacionado con el aumento en las precipitaciones de diciembre a febrero, lo cual incrementa el arrastre de material vegetal y materia orgánica fina, dejando disponible a organismos como los insectos acuáticos, los cuales poseen adaptaciones para aferrarse al sustrato y no

Tabla 2. Distribución porcentual de la dieta de la especie *B. henni* entre las diferentes categorías de las variables analizadas

Variable	Categoría	% material vegetal	% material animal	% detritus	Kruskall Wallis
Tamaños	adultos(>7cm)	27,65	49,41	23,24	≤0,05
	juveniles (1,7cm-6,9cm)	26,86	43,14	30,00	
	alevinos(<1,6cm)	6,54	58,08	35,38	
Sexo	hembra	26,00	51,33	22,67	≥0,05
	macho	28,95	47,89	23,68	
	no identificado	18,20	49,51	32,30	
Meses	julio	15,42	50,00	34,58	≤0,05
	agosto	26,67	48,00	25,33	
	septiembre	25,00	42,00	33,00	
	diciembre	24,67	50,00	25,33	
	enero	17,14	65,71	18,57	
	febrero	10,00	77,50	12,50	
	promedio	21,1	52,7	26,4	

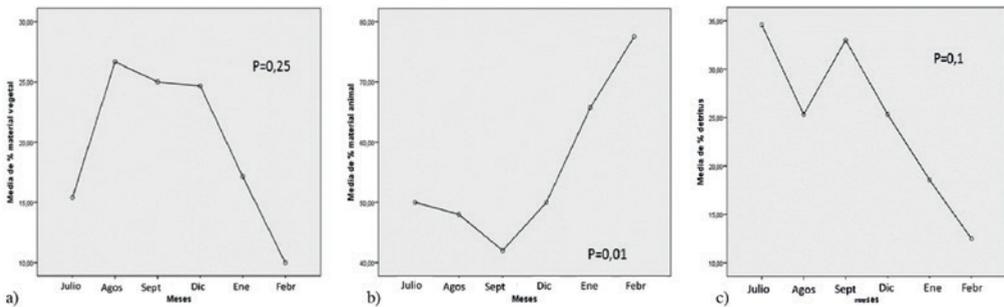


Figura 5. Promedio contenido estomacal por meses. a) Media % detritus; b) media % material vegetal; c) media % material animal.

ser arrastrados (Molina *et al.*, 2008). Por otra parte, la disminución en la precipitación y el caudal restringe la movilidad de las sabaletas a aquellas zonas de mayor profundidad, limitando así el recurso alimenticio, no solamente por la disponibilidad de agua, sino también por la calidad de esta, debido a que en épocas de menor precipitación, la temperatura aumenta, el oxígeno disminuye debido al aumento de los procesos de descomposición de la materia orgánica, generando un aumento de nutrientes y a su vez, condiciones desfavorables para los macroinvertebrados sensibles a la contaminación, disminuyendo la disponibilidad de recurso (Gutiérrez-Garaviz, Zamora- González y Andrade-Sossa, 2014).

Frecuencia porcentual (%F) de invertebrados ingeridos

De acuerdo con los resultados obtenidos, la especie *B. henni* presenta una predilección por el consumo de macroinvertebrados acuáticos (49,5%), registrándose dentro de los sistemas digestivos analizados un

total de 394 individuos consumidos de los órdenes Díptera (32,2%), Trichoptera (23,1%), Coleóptera (13,2%), Hemíptera (12,7%), Nematomorpha (8,1%), Ephemeroptera (4,8%), Himenóptera (3,3%), Odonata (2%), Plecóptera (0,5%), además de material animal que no fue posible identificar (Tabla 1).

Esta dieta, basada principalmente en macroinvertebrados acuáticos, fue descrita con anterioridad para la misma especie en la cuenca del Pacífico colombiano (Botero-Botero y Ramírez-Castro, 2011) y otras cuencas como la del río Magdalena (Restrepo-Santamaría *et al.*, 2022) y para otras especies del mismo género (Azevedo *et al.*, 2011). Dicha estrategia adaptativa de consumir alimentos de manera generalista le permite a la especie distribuirse en hábitats acuáticos diversos (Restrepo-Santamaría *et al.*, 2022). Adicionalmente, el consumo de insectos terrestres por parte de *B. henni* indica su papel ecológico al introducir material alóctono al ecosistema acuático (Botero-Botero y Ramírez-Castro, 2011; Restrepo-Santamaría *et al.*, 2022). La presencia de dientes y lengua de gran

tamaño en esta especie favorece el consumo carnívoro a pesar de su tendencia generalista (Londoño-Franco *et al.*, 2017).

Estas mismas tendencias fueron reportadas para la mayoría del grupo de los Characidos, siendo en su mayoría oportunistas, alimentándose no solo de insectos acuáticos, sino de todo organismo que caiga al agua, como plantas, semillas y otros insectos terrestres (Barros, 2004; Botero- Botero y Ramírez-Castro, 2010; Ferriz *et al.* 2010; Ibarra-Trujillo y García-Alzate, 2017).

Con respecto al consumo de macroinvertebrados entre las diferentes tallas, se registraron diferencias significativas (Kruskall, $p < 0,05$) en los ítems hemíptera, coleóptera y material no identificado, aumentando su presencia a medida que el individuo crece, situación contraria se registró con los ítems díptera y Trichoptera, los cuales parecen ser consumidos con mayor frecuencia entre los organismos más

pequeños (Fig. 6). Esto puede ser debido a que los grupos coleóptera y hemíptera están compuestos por organismos de mayor tamaño y exosqueleto más fuerte, a diferencia de los dípteros y tricópteros, los cuales son generalmente más pequeños, de cuerpo blando y movilidad restringida, algunos siendo sésiles o sedentarios, facilitando el consumo por los individuos más pequeños (Hanson, Springer y Ramírez, 2010).

Por otra parte, el sexo de los individuos no parece influir de manera significativa en el consumo de los macroinvertebrados acuáticos, sin embargo, hubo diferencias en el consumo de los grupos díptera, hemíptera, coleóptera y Trichoptera. Cabe resaltar que en la categoría *no identificado* están agrupados las larvas y juveniles, los cuales, como se mencionó anteriormente, tienen preferencia por las larvas de dípteros y tricópteros, mientras que las hembras prefieren los hemípteros y los machos los coleópteros (Fig. 7).

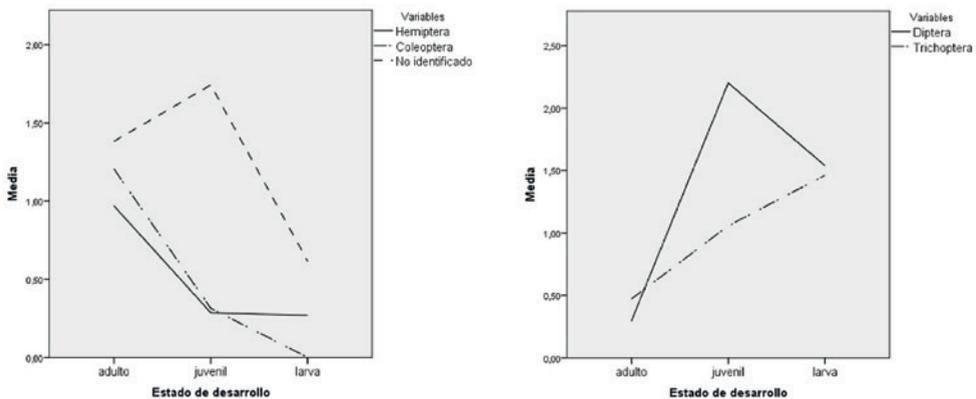


Figura 6. Comportamiento de la dieta de macroinvertebrados en relación a las tallas o desarrollo. Se presentan únicamente los grupos que dieron significativo (Kruskal, $\leq 0,05$).

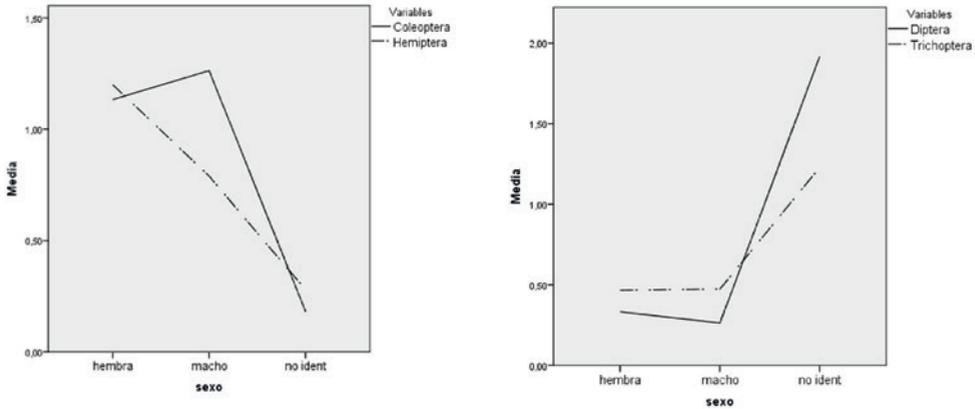


Figura 7. Comportamiento de la dieta de macroinvertebrados entre sexos. Se presentan únicamente los grupos que dieron significativo (Kruskal, $\leq 0,05$).

Con respecto a la variación en el consumo de macroinvertebrados acuáticos entre los diferentes meses, solo se evidenciaron diferencias significativas (Kruskal, $p < 0,05$) entre los ítems díptera, hemíptera, coleóptera, Nematomorfa y material no identificado, registrándose un aumento de las apariciones en los meses de julio a

febrero, caso contrario a los dípteros, los cuales presentaron la mayor ocurrencia en el mes de agosto disminuyendo hacia el final de los muestreos. Al parecer, los grupos antes mencionados (a excepción de díptera) responden de forma positiva al aumento en las precipitaciones. Esta variedad del consumo de los diferentes

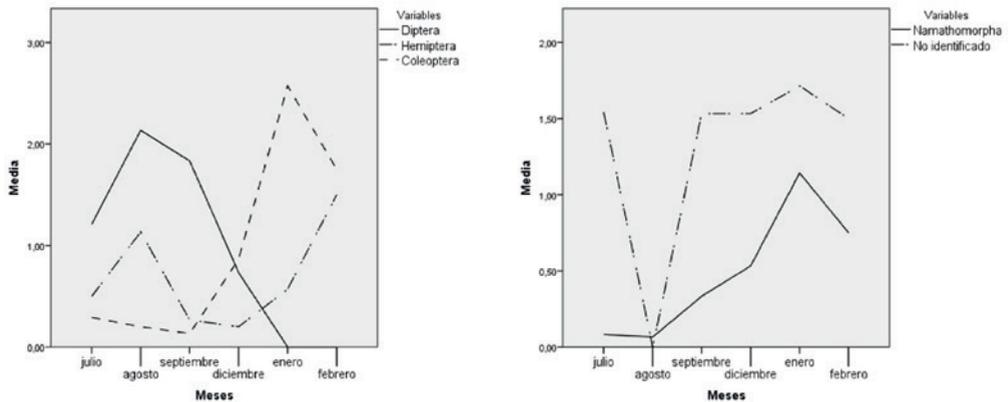


Figura 8. Comportamiento de la dieta de Macroinvertebrados en relación al tiempo de muestreo. Se presentan únicamente los grupos que dieron significativo (Kruskal, $\leq 0,05$).

ítems encontrados en los meses señalados responde a una variación en la pluviosidad, la cual aumenta la heterogeneidad de hábitats a medida que aumentan el caudal y la profundidad, lo que genera una disminución en la eficiencia de la depredación, especialmente en organismos con poca movilidad, como dípteros y tricopteros (Ferriz, *et al.* 2010).

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, *Brycon. henni* se puede considerar como una especie generalista, con preferencia a la depredación de macroinvertebrados acuáticos, principalmente Díptera, Trichoptera, Coleóptera, Hemíptera y Nematomorpha. Se pudo evidenciar que dichas preferencias cambian de acuerdo a los diferentes meses, las cuales están relacionadas con las épocas de precipitación, aumentando el consumo de larvas de insectos acuáticos y disminuyendo la cantidad de detritus y material vegetal, lo cual se invierte en épocas de verano. Esto evidencia que la dieta de *B. henni* es un reflejo de la disponibilidad de alimento en las diferentes temporadas, marcando así su tendencia alimentaria de acuerdo a lo expresado por Barros, (2004).

Con respecto al sexo, las hembras son las mayores depredadoras de larvas de insectos acuáticos, prefiriendo los grupos hemíptera y trichoptera como sus principales presas. El grado de desarrollo de los individuos también influencia el hábito alimenticio, siendo el material animal, especialmente dípteros y tricopteros, la principal fuente de alimento de las larvas o alevines, aumentando el consumo de otras fuentes alternativas como el material vegetal a medida que se desarrollan.

Referencias

Azevedo, P. Melo, R. y Young, R. 2011. Feeding and social behavior of the piabanha, *Brycon devillei* (Castelnau, 1855) (Characidae: Byconinae) in the wild, with a note on the following behavior. *Neotropical Ichthyology*, 9(4). 807-814. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011005000046>

Barros, S. 2004. Alimentación de *Oligosarcus jenynsii* (Characiformes: Characidae) en dos embalses sobre el río Juramento, Salta, Subtrópico de Argentina. Revista AquaTIC, n° 20, pp. 44-50. Disponible en: <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/246>

Beltrán I. C. 1978. Aporte al estudio biológico pesquero del embalse Troneras (Antioquia) y alternativas para su manejo. Inderena, 107p.

Botero- Botero, A. y Ramírez- Castro, H. 2011. Ecología trófica de la sabaleta *Brycon henni* (pisces: characidae) en el río Portugal de piedras, alto Cauca, Colombia. Rev. MVZ Córdoba Vol 16 no. 1. 2011. Disponible en: <https://doi.org/10.21897/rmvz.293>

Builes, J. y Urán, A. 1974. Estudio del ciclo sexual de la sabaleta *Brycon henni* Eigenmann. Su comportamiento y fecundación artificial. Actualidades biológicas. Vol 3. No. 7.

Cala P. 1987. La ictiofauna dulceacuícola de Colombia: una visión histórica y su estado actual. Rev Acad Colomb Cienc 16: 69-84.

Domínguez, H. y Fernández, E. 2009. Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología. 1a ed. - Tucumán: Fund. Miguel Lillo. 656 p.

Flórez P. E. 1999. Estudio biológico-pesquero preliminar de tres especies ícticas del Alto Río Cauca Embalse de Salvajina. Cespedecia. 23 (73-74): 47-60.

Ferriz, R., Bentos, C., López, G. y Fernández, E. 2010. Algunos aspectos biológicos de *Bryconamericus iheringii* (Ostariophysi: Characidae) en dos arroyos de la alta cuenca del río Samborombón, Argentina. Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s. 12(2): 109-116. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-04002010000200001&lng=es&tlng=es

García-Alzate, C. A. y Román-Valencia, C. 2008. *Hypheobrycon ocaosensis* sp. n. (Teleostei, Characidae) una nueva especie para el Alto Cauca, Colombia. *Animal Biodiversity and Conservation*, 31(2), 11-23.

Guevara, E., Sánchez, A.J., Rosas, C., Mascaró, M. y Brito, R. 2007. Asociación trófica de peces distribuidos en vegetación acuática sumergida en laguna de términos, sur del Golfo de México. *Universidad y Ciencia*, 23 (2), 151-166.

Gutiérrez Garaviz, J., Zamora González, H., Andrade-Sossa, C. 2014. Efecto de la actividad antrópica sobre la composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Cofre (sistema lótico andino colombiano). *Revista Biodiversidad Neotropical* (2), 113-123.

Hanson, P., Springer, M y Ramirez, 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58(Suppl. 4), 3-37. Retrieved August 17, 2023. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800001&lng=en&tlng=es

Ibarra-Trujillo, E. J. y García-Alzate, C. A. 2017. Ecología trófica y reproductiva de *Hemibrycon sierraensis* (Characiformes: Characidae), pez endémico del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 1033. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29439>

Lasso C., Agudelo Córdoba L., Jiménez Segura F., Ramírez-Gil H., Morales-Betancourt M., Ajiaco Martínez R. E., Gutiérrez P., Usma Oviedo J., Muñoz Torres S. E. y Sanabria Ochoa, A. 2011. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia. Recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales de Colombia. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt (IAVH). Bogotá, D. C. Colombia, 715 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11761/31378>

Lenis-Sucerquia, G., Cruz Casallas, P. y David- Ruales, C. 2015. Reproducción inducida de la sabaleta *Brycon henni*: revisión bibliográfica. *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 211-220. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492015000100020&lng=en&tlng=es

Londoño-Franco, L. Laverde-Trujillo, L. y Muñoz-García, F. 2017. Descripción anatómica e histológica del aparato digestivo de la sabaleta (*Brycon henni*), Antioquia, Colombia. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(3), 490-504. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i3.13354>

Maldonado Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma O. J. S., Galvis, V. G., Villa-Navarro, F. A., Vásquez, G. L., Prada-Pedrerros, S. y Ardila, R. C. 2005. Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos «Alexander Von Humboldt». Bogotá, D. C. Colombia. 346 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11761/32534>

Maldonado Ocampo, J. y Ramírez Gil, H. 2006. Hábitos alimenticios de *Pygocentrus cariba* y *Chalceus epakros* (Pisces, Characiformes: Characidae) en dos localidades de la baja Orinoquia colombiana. Programa de inventarios de biodiversidad, instituto Alexander Von Humboldt, claustro de San Agustín, Villa de Leyva, Boyacá, Colombia. 141 pp.

Maldonado Ocampo, J. A., Usma Jorge, S., Villa Navarro, F. A., Ortega Lara, A., Prada Pedrerros S., Jiménez, L. F., Jaramillo Villa, U., Arango A., Rivas T. y Sánchez, G. C. 2012. Peces dulceacuícolas del Chocó biogeográfico de Colombia. WWF Colombia, Instituto de Investigación De Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAVH), Universidad del Tolima, Autoridad Nacional De Acuicultura y Pesca (AUNAP), Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia. 400 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11761/32918>

Mancera-Rodríguez, N. 2017. Biología reproductiva de *Brycon henni* (Teleostei: Bryconinae) y estrategias de conservación para los ríos Nare y Guatapé, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 1105-1119. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29453>

Martínez-Orozco H. J. y Vásquez-Zapata G. 2001. Aspectos reproductivos de la Sabaleta *Brycon henni* (Piscis:Characidae) en el embalse La Salvajina, Colombia. *Rev Asoc Colomb Ictiol*; 4, 75-82.

Merritt, R.W. y Cummins, K.W. 1996 *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, 862.

Molina, C., Gibon, F., Pinto, J., y Rosales, C. 2008. Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la cordillera real, Bolivia: variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 105-116. Disponible en: <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.365>

Montoya López, A., Carrillo, L. y Olivera, A. 2006. Algunos aspectos biológicos y del manejo en cautiverio de la sabaleta *Brycon henni eigenmann*, 1913 (pisces: characidae). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 7 pp.

Muñoz García, F. G. 2011. Análisis cromosómico comparativo de las especies *bryconv americus sp.* (Characidae, Eigenmann, 1913) y *Brycon henni* (Characidae, Eigenmann, 1913) de las cuencas altas del río Cauca y Patía. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

Restrepo-Santamaría, D. Navia, A. F., Palacios, J. y Jiménez-Segura, L. F. 2022. Feeding strategy of fish that colonize reservoirs in the Magdalena river basin. *Universitas Scientiarum*, 27(3), 234-252. Disponible en: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC273.fsof>

Roldan, G. 1993. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. 226p.

Tabares C.J., Montoya A. F., Arboleda L., Echeverri A., Restrepo L. F. y Olivera-Angel M. 2006. Efecto de la pluviosidad y el brillo solar sobre la producción y características del semen en el pez *Brycon henni* (Pisces: Characidae). *Revista de Biología Tropical*, 54(1), 179–187. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/rbt.v54i1.13992>

Tello, J., Montreuil V, H., Maco, J. T., Ismiño, R. A. y Sánchez, H. 1992. Bioecología de peces de importancia económica de la parte inferior de los ríos Ucayali y Marañón – Perú. *Folia Amazónica*, 4(2). 21p. Disponible en: <https://doi.org/10.24841/fa.v4i2.196>

Bennemann, S. T., Gealh, A. M., Orsi, M. L. y De Souza, L. M. 2005. Ocorrência e ecologia trófica de quatro espécies de *Astyanax* (Characidae) em diferentes rios da bacia do rio Tibagi, Paraná, Brasil. *Iheringia. Série Zoológica*, 95(3), 247–254. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212005000300004>

Tomanova, S., Goitia, E y Helesic, J. 2006. Trophic Levels and Functional Feeding Groups of Macroinvertebrates in Neotropical Streams. *Hydrobiologia* 556(1):251–264. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1255-5>

Primer registro de murciélago orejado del género *Histiotus* (Chiroptera: Vespertilionidae) para el municipio de Salento, Quindío-Colombia

First record of long-eared bat of the genus *Histiotus* (Chiroptera: Vespertilionidae) for the municipality of Salento, Quindío-Colombia

Katherine Young-Valencia¹
Santiago Styles Duque²
Ángela María Morales Trujillo³
Alan Giraldo⁴

¹*Grupo de Investigación en Ecología Animal de la Universidad del Valle, Armenia, Quindío.*
Email: katherineyoungv1990@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0695-1267>

²*Corporación Autónoma Del Quindío, Armenia, Quindío*
Email: sdstyles9@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5190-9570>

³*Bióloga de la Universidad del Quindío*
Email: angela.morales@posgrado.ecologia.edu.mx
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5723-0160>

⁴*Jefe Departamento de Biología, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia*
Email: alan.giraldo@correounivalle.edu.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9182-888X>

Resumen

Se reporta el primer registro de presencia de un individuo de murciélago orejado del género *Histiotus* (Gervais 1856) (Vespertilionidae), documentado fotográficamente de manera anecdótica en el municipio de Salento, Quindío. La determinación de este espécimen, fue posible gracias a las

Historia del artículo

Fecha de recepción: 09-05-2023

Fecha de aceptación: 29-06-2023

DOI: 10.47374/
novcol.2023.v18.2308

conspicuas características externas del género, con patrones como: orejas grandes, hipertrofia de la pina auditiva (>28) y ausencia de hoja nasal. En este documento, se resalta el hallazgo del nuevo registro para el municipio y se documenta la importancia de la ampliación en su distribución, lo cual permitirá conocer aspectos sobre la biología y ecología de la especie en el departamento y, por ende, incrementar el conocimiento en el componente mastozoológico, direccionando a un contexto de la conservación de los ecosistemas altoandinos en la Cordillera Central de Colombia.

Palabras clave: *Histiopus*, Cordillera Central, municipio de Salento.

Abstract

We report the first record of the presence of an individual of the genus *Histiopus* (Gervais 1856) (Vespertilionidae), photographically recorded anecdotally in the municipality of Salento, Quindío. The determination of this specimen was possible thanks to the conspicuous external characteristics of the genus, with patterns such as: large ears, hypertrophy of the auditory pinna (>28) and absence of nasal leaf. This paper highlights the finding of the new record in the municipality and documents the importance of expanding its distribution, which will allow to know aspects about the biology and ecology of the species in the department, and thus increase knowledge in the mastozoolological component, leading to a context of conservation of high Andean ecosystems in the Central Cordillera of Colombia.

Key words: *Histiopus*, Central Cordillera range, municipality of Salento

Introducción

El territorio quindiano se encuentra ubicado sobre las dos vertientes de la región media de la Cordillera Central, rango de mayor antigüedad entre los ramales andinos en Colombia. Esta característica hace que se presenten diferentes pisos térmicos que van desde los 900 a los 4750 msnm (Gobernación del Quindío, 2022). Un ejemplo es el municipio de Salento, que va desde los 1300 a 4750 msnm (CRO, 2021), generando condiciones ambientales altamente contrastantes, sugiriendo una alta diversidad biótica. A razón de lo anterior, el de mamíferos es uno de los grupos de vertebrados con mayor riqueza de especies, sin embargo, a la fecha, según el reporte del Instituto Humboldt (2022), de las 520 especies registradas para Colombia, tan solo 34 cuentan con evidencia en colecciones biológicas que soportan su presencia en el departamento, siendo el grupo de los quirópteros de alta montaña uno de los menos conocidos para Colombia (Pérez-Torres *et al.*, 2009; Torres-Trujillo y Mantilla-Meluk, 2017; Vásquez *et al.*, 2019).

Debido al elevado metabolismo asociado al vuelo como mecanismo de locomoción, los quirópteros experimentan altas restricciones fisiológicas que condicionan su presencia en ecosistemas de alta montaña (Emmons y Feer, 1999), caracterizados por una temperatura y presión de oxígeno bajas, así como por una menor productividad primaria. Como consecuencia, la diversidad

de quirópteros es menor en los bosques altoandinos y páramos que en ecosistemas de tierras bajas (Emmons y Feer, 1999). Uno de los grupos de quirópteros representativos de los sistemas montañosos del Neotrópico es el de los murciélagos orejados del género *Histiotus* (Gervais, 1856), del cual recientemente se conocen diez especies con los siguientes patrones de distribución: *H. macrotus* (Poeppig, 1835), extendido desde el norte de Argentina hasta la parte central de Chile; *H. velatus* (I. Geoffroyi St. Hilaire, 1824), distribuido desde el norte de Bolivia y sur oriente de Perú hasta Brasil (Handley y Gardner, 2007); *H. humboldti* (Handley, 1996), que exhibe una distribución disyunta en los Andes de Ecuador y Colombia, la cordillera de la Costa de Venezuela, incluyendo las elevaciones del Escudo Guayanés en Brasil; la ampliamente distribuida *H. montanus* (Philippi y Landbeck, 1861; Mumford y Knudson, 1978), que habita en áreas frías a lo largo del sistema andino desde Venezuela y Colombia hasta el sur del continente Suramericano (Gardner, 2008; Gregorin *et al.*, 2020); *H. laephotis* (Thomas, 1916), especie nativa del altiplano de Bolivia, Paraguay, Norte de Argentina y sur de Brasil (Acosta y Venegas, 2006; Bárquez y Díaz, 2008; Miranda *et al.*, 2007); *H. magellanicus* (Philippi, 1866), especie poco conocida cuya distribución se restringe al sur de Argentina y Chile (Díaz *et al.*, 2019); *H. alienus* (Thomas, 1916), reportada únicamente en el norte de Brasil, a veces considerada como una subespecie de *H. montanus* (Gardner, 2008); *H. diaphanopterus* (Feijó Da Rocha y Althoff, 2015) distribuida desde el noreste de Brasil y centro de Bolivia (Semedo y Feijó, 2017). Finalmente, el reporte de dos nuevas

especies: *H. cadenai* (Rodríguez-Posada *et al.*, 2021), la cual se distribuye desde la Cordillera Central en Colombia hasta el norte de Ecuador, a más de 2550 msnm; y la distribución de *H. colombiae* (Thomas, 1916), abarcando las altas llanuras de la Cordillera Oriental en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca en un rango de elevación entre 2600 y 3100 msnm (Rodríguez-Posada *et al.*, 2021).

La información sobre la ecología y distribución de los representantes del género *Histiotus* en Colombia es limitada, siendo reportada la presencia de solo tres especies: *H. humboldti*, *H. montanus* y *H. cadenai*; las cuales, de acuerdo a los registros, pueden existir en simpatria por encima de los 1400 msnm y a lo largo de los tres rangos montañosos del norte de los Andes Colombianos (cordilleras Occidental, Central y Oriental), en los departamentos de Boyacá, Caldas, Cauca, Risaralda, Quindío, Valle del Cauca y Cesar (Rodríguez-Posada, 2010; Solari *et al.*, 2013; Ramírez-Chaves *et al.*, 2016; Corredor-Carrillo y Muñoz-Saba, 2007; Rodríguez-Posada *et al.*, 2021).

En cuanto al departamento del Quindío, Rodríguez-Posada *et al.* (2021) mencionan la existencia de un registro paratipo de *Histiotus cadenai* para el municipio de Génova, en el predio Juntas (04° 08'N, y 75° 44'O, 3400 msnm) a partir de la colecta del cráneo y piel, los cuales reposan en la colección de la Universidad del Valle (UV: Catálogo 13274). Estos reportes no fueron oficialmente publicados, llevando a que no exista otra evidencia de su presencia en municipios adyacentes, ni registros biológicos en

las colecciones departamentales o listas zoológicas del Quindío que lo demuestren. En consideración a lo anterior, el presente trabajo reporta el primer registro del género de murciélago Orejudo (*Histiotus*) en el municipio de Salento, departamento del Quindío.

Materiales y métodos

Como producto de la evaluación de recursos ecosistémicos a lo largo de la microcuenca Cruz Gorda, mientras se realizaban recorridos por la zona en el año 2017, fue encontrado un espécimen muerto

del género *Histiotus*, en la Finca Alegrías ($04^{\circ}36'07''$ N y $75^{\circ}32'22''$ O, 2581 msnm) del municipio de Salento (Fig. 1). El individuo no fue colectado por falta de elementos que permitieran su preservación y transporte. Sin embargo, con el ánimo de documentar la descripción del murciélago, se realizó el registro fotográfico del individuo, en el que se apreciaron algunas de sus características morfológicas, las cuales, a pesar de las condiciones fortuitas del episodio, se registraron en combinación con la estimación de medidas anatómicas del individuo, permitiendo su identificación hasta el nivel de género, con el apoyo de un grupo de expertos.

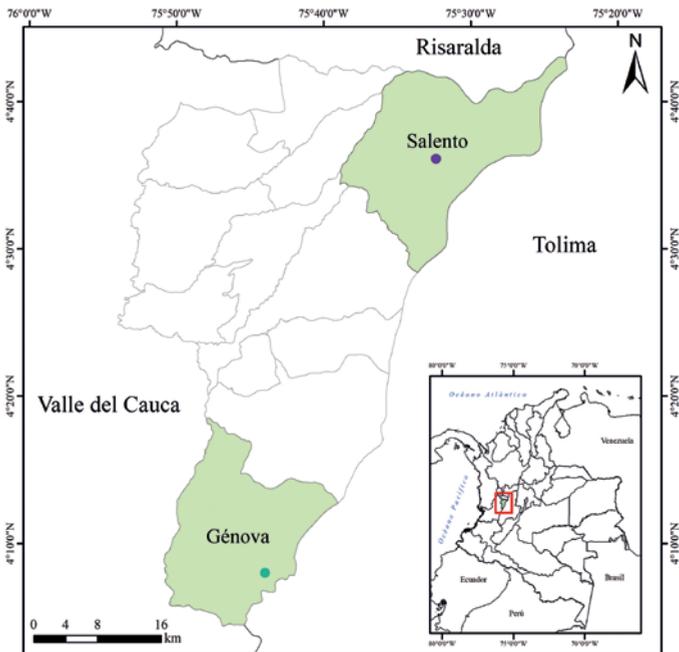


Figura. 1. Localización geográfica de los registros del género *Histiotus* en el departamento del Quindío, Colombia.

Resultados y discusión

Las fotografías fueron revisadas en detalle, reconociendo algunas características morfológicas del individuo y el promedio de las medidas. Se logró identificar que es un representante del género *Histiotus*, individuo que correspondió a un macho aparentemente adulto, con una longitud total estimada de 62 mm, una longitud del pelaje entre las escápulas de aproximadamente 14 mm, pelo bicolor, con las puntas más claras que la base, el vientre blanquecino y el dorso pardo castaño (Fig. 2A); alas anchas, cortas y pálidas (Fig. 2A y 2B); orejas de color claro con medida menor a 30 mm (Fig. 2C); orejas que se destacan a simple vista por ser grandes y de mayor tamaño en comparación con la cabeza (Gervais, 1856; Bárquez *et al.*, 1999; Rodríguez-Posada *et al.*, 2021).

Este hallazgo es importante, no solo bajo el contexto de un nuevo reporte de

distribución para el género o el registro de un nuevo ejemplar para el municipio de Salento, Quindío, sino porque los murciélagos cumplen funciones indispensables dentro del ecosistema, como predadores de insectos nocturnos y potenciales controladores biológicos (William-Guillén *et al.*, 2008), además de su demarcada interacción en la polinización y dispersión de semillas, lo cual provee una variedad de beneficios a las plantas, escape de enemigos naturales, colonización de nuevas áreas en ambientes perturbados y el aumento de la variabilidad genética (Ríos-Aramayo *et al.*, 2000).

Sin embargo, las altas transformaciones experimentadas por los sistemas de alta montaña en el departamento del Quindío incluyen un conjunto de factores directos e indirectos que han causado impacto en la fragmentación del paisaje, relacionados con la deforestación a causa del avance de la frontera agrícola, pecuaria y forestal,



Figura. 2. A. Individuo completo (extensión de las alas)
B. Vista ventral. C. Detalle de las orejas.

así como el aprovechamiento desmedido de otros productos del bosque con fines comerciales, siendo la transformación de coberturas el mayor motor de pérdida de diversidad biológica global en la actualidad (Velásquez y Arévalo, 2014).

Estos impactos afectan la presencia y dispersión de especies de murciélagos en determinadas áreas, lo que indica que algunas coberturas podrían mostrarse hostiles, principalmente para las especies propias del bosque, afectando su abundancia, diversidad y patrones de distribución a través del paisaje con respecto al espacio y tiempo (Gastón, 1991; Harvey, 2005, 2006; Turcios-Casco, 2019). Incluso, Cuarón (2000) mencionó que los cambios del uso del suelo afectan la disponibilidad de recursos, al disminuir considerablemente los refugios, fuentes de alimentación, la población y, en muchos casos, siendo la causa de extinción local, dado que los murciélagos son susceptibles a perturbaciones del medio ambiente y muchas de sus especies han declinado en respuesta a la actividad humana (Ríos-Aramayo *et al.*, 2000).

A razón de lo anterior, surge la necesidad de generar programas de monitoreo biológico a largo plazo y actividades de conservación integrales entre los diferentes municipios del Quindío que permitan identificar la diversidad biológica del orden Chiroptera en los ecosistemas de alta montaña y el reconocimiento de sus funciones ecológicas dentro del mismo, así como la implementación de medidas

de prevención y mitigación ante la pérdida y destrucción de su hábitat.

Conclusión

El hallazgo socializado a través de este trabajo, resalta la importancia de la generación y documentación de información que permita conocer aspectos de los patrones de dispersión, biología y ecología del género *Histiotus* y las especies de este género que actualmente presentan distribución en el departamento, incrementando el conocimiento en el componente mastozoológico y las estrategias de manejo y conservación del mismo. Esto a su vez, contribuye a fortalecer y mejorar la formulación y aplicación de políticas ambientales para la conservación de ecosistemas alto andinos dentro del territorio.

Referencias

- Acosta, L. y Venegas, C. 2006. Algunas consideraciones taxonómicas de *Histiotus laephotis* e *H. macrotus*, en Bolivia. *Kempffiana*, 2(1), 109-115. Disponible en: [https://museoelkempff.org/sitio/Informacion/KEMPFIANA/Kempffiana%202\(1\)/109-115.pdf](https://museoelkempff.org/sitio/Informacion/KEMPFIANA/Kempffiana%202(1)/109-115.pdf)
- Bárquez, R.M., Mares, M.A. y Braun, J.K. 1999. Bats of Argentina. Museum of Texas Tech University, United States. 259-275 pp. Disponible en: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.142628>

Bárquez, R.M. y Díaz, M.M. 2008. *Histiotus laeophotis*. IUCN Red List of Threatened Species. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org>

Corredor-Carrillo, D. A. y Muñoz-Saba, Y. 2007. Mamíferos de la alta montaña de Perijá. Colombia, diversidad biótica V, la alta montaña de la Serranía de Perijá (Rangel-Ch, JO Ed.). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR), Gobernación del Departamento del Cesar Bogotá, Colombia, 492 pp.

Corporación Autónoma Regional del Quindío (C.R.Q). 2021. Agenda Ambiental del municipio de Salento. Disponible en: <https://crq.gov.co/wp-content/uploads/2021/03/AASALENTO.pdf>

Cuarón, A.D. 2000. Effect of land-cover changes on mammals in a Neotropical region: a modeling approach. *Conservation Biology*, 14(6),1676–1692. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2641519>

Díaz, M.M., Ossa, G. y Bárquez, R.M. 2019. *Histiotus magellanicus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Mammalian Species*, 51(973), 18–25. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/mspecies/sez003>

Emmons, L. H., y Feer, F. 1999. Mamíferos de los bosques húmedos de América tropical: Una guía de campo. Editorial F.A.N., Santa Cruz, Bolivia.

Gervais, P. 1856. Deuxième Mémoire. Documents zoologiques pour servir à la monographie des chéiroptères sud-américains. En: P. Gervais (Ed.) Mammifères. Vol. 1, In: de Castelnau F. (Ed.). Animaux nouveaux ou rares recueillis pendant l'expédition dans les parties centrales de l'Amérique du Sud, de Rio de Janeiro a Lima, et de Lima au Para; exécutée par ordre du gouvernement Français pendant les années 1843 à 1847. P. Bertrand, Paris, 28–88.

Gardner, A.L. (Ed.). 2008. Mammals of South America. Vol. 1. Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois. 450–457 pp. Disponible en: <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226282428.001.0001>

Gaston, K.J. 1991. The magnitude of global insect species richness. *Conservation Biology*, 5(3),283–296. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2385898>

Gobernación del Quindío. 2022. Datos geográficos básicos. Disponible en: <https://quindio.gov.co/el-departamento/generalidades/datos-geograficos-basicos>

Gregorin, R., Mancini, M., Laurindo, R. S., Mello, R. M., Moras, L. M., Almeida, T. G. y Silva, L. C. 2020. New records of the bats *Histiotus montanus* and *Molossops neglectus* in southeastern Brazil with notes on biology and morphology. *Caldasia*, 42(1), 30–37. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.73949>

Harvey, C. A., Villanueva, C., Villacís, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M. y Sinclair, F. L. 2005. Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 111(1–4), 200–230. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.011>

Harvey, C. A., Medina, A., Sánchez, D. M., Vílchez, S., Hernández, B., Saenz, J. C., Maes, J.M., Casanoves, F. y Sinclair, F. L. 2006. Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological applications*, 16(5), 1986–1999. Disponible en: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1986:POADID\]2.o.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1986:POADID]2.o.CO;2)

Instituto Humboldt Oficina de Comunicaciones Boletín de Prensa. 2021. Mamíferos de Colombia: una riqueza con muchos vacíos de información. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1648-mamiferos-de-colombia-una-riqueza-con-muchos-vacios-de-informacion>

Miranda, J.M.D., Azevedo-Barros, F.M. y Passos, F.C. 2007. First record of *Histiotus laephotis* Thomas (Chiroptera, Vespertilionidae) from Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24:1188–1191. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752007000400040>

Mumford, R.E. y Knudson, D.M. 1978. Ecology of bats at Vicosa, Brazil. Pp 287–296. In: Proceedings. 4th International Bat Research Conference (Olembo, R.J., Lembo, R.J. Castelino, J.B. and Muter, F.A. eds.). Kenya National Academy, Advancement of Arts and Sciences.

Pérez-Torres, J. y Cortés-Delgado, N. 2009. Murciélagos de la Reserva Natural La Montaña del Ocaso (Quindío, Colombia). *Chiroptera Neotropical*, 15(1), 456–460. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266160951_Murcielagos_de_la_Reserva_Natural_La_Montana_del_Ocaso_Quindio_Colombia

Ríos-Aramayo, R., Loafla-Freire, A. y Larrea, D. M. 2000. La importancia de los murciélagos como dispersores de semillas en Bosques Húmedos Montanos. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo-Rios-10/publication/259932300_La_importancia_de_los_murcielagos_como_dispersores_de_semillas_en_bosques_humedos_montanos/links/oc96052e986313bb1d000000/La-importancia-de-los-murcielagos-como-dispersores-de-semillas-en-bosques-humedos-montanos.pdf

Rodríguez-Posada, M.E. 2010. Murciélagos de un bosque en los Andes centrales de Colombia con notas sobre su taxonomía y distribución. *Caldasia*, 32(1), 205–220. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36217>

Rodríguez-Posada, M.E., Morales-Martínez, D.M., Ramírez-Chaves, H.E., Martínez-Medina, D. y Calderón-Acevedo, C.A. 2021. A new species of Long-eared Brown Bat of the genus *Histiotus* (Chiroptera) and the revalidation of *Histiotus colombiae*. *Caldasia*, 43(2), 221–234. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v43n2.85424>

Semedo, T.B.F. y Feijó, A. 2017. Filling the gap: first record of the transparent-winged big-eared bat *Histiotus diaphanopterus* (Chiroptera: Vespertilionidae) in southwestern Brazil. *Mammalia*, 81(3), 323–327. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/mammalia-2016-0007>

Torres-Trujillo, N. y Mantilla-Meluk, H. 2017. Común e ignorado: ausencia de documentación científica del guatín *Dasyprocta punctata* (Rodentia: Dasyproctidae) en el departamento del Quindío, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 7(1), 30–38. Disponible en: <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v7i1.58>

Turcios-Casco MA. y Medina-Fitoria A. 2019. Occurrence of *Hylonycteris underwoodi* (Chiroptera, Phyllostomidae) and *Thyroptera tricolor* (Chiroptera, Thyropteridae) in Honduras. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 54(1), 69–72. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01650521.2018.1544205>

Vásquez, P. S., Chica-Galvis, C.A., Mantilla-Meluk, H., Díaz-Giraldo, V., Botero-Zuluaga, M. y Montilla, S. 2019. Mamíferos en áreas de conservación de la Corporación Autónoma Regional del Quindío, Colombia. *Biota colombiana*, 20(2), 93–104. Disponible en: <https://doi.org/10.21068/c2019.v20n02a07>

Velásquez-Tibatá, J., Etter, A. y Arévalo, P. Efectos proyectados de la transformación de coberturas boscosas sobre la biodiversidad. En: Bello et al. (ed). Biodiversidad 2014. Estado y tendencias de la biodiversidad continental en Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia.

William-Guillén, K., Perfecto, I. y Vandermeer, J. 2008. Bats limit insects in a Neotropical agroforestry system. *Science*, 320 (5872), 70. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.1152944>

Diversidad de fitoplancton y estado de conservación de la Laguna San Rafael ubicada en el Parque Nacional Natural Puracé

Phytoplankton diversity and conservation status of the San Rafael Lagoon located in the Puracé National Natural Park

Daila Xilena Medina Peña¹
Nicole Estefanía Ibagón²
Daniel Feriz García³
Gustavo Adolfo Pisso-Florez⁴

*¹Facultad de Ciencias Ambientales y Agrarias,
Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: 080115da@gmail.com*

*²Programa de Ecología, Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: nicole.ibagon@docente.fup.edu.co*

*³Unidad de investigación en ecología tropical UNIET,
Ecología, Fundación Universitaria de Popayán – FUP.
E-mail: daniferiz@hotmail.com*

*⁴Parque Nacional Natural Puracé. Asociación Ornitológica
del Cauca. Fundación Ecohábitats.
e-mail: tapiflo@gmail.com*

Resumen

La laguna San Rafael, ubicada en el Parque Nacional Natural Puracé, es un sitio sagrado y de valor de conservación para las comunidades indígenas que habitan este territorio. Con el objetivo de evaluar su estado de conservación, se realizó un estudio basado en la diversidad de fitoplancton presente

Historia del artículo

Fecha de recepción:
27-04-2023
Fecha de aceptación:
22-08-2023

DOI: 10.47374/
novcol.2023.v18.2298

en sus aguas. Se llevaron a cabo cuatro muestreos entre junio y octubre de 2022, filtrando 50 L de agua a través de una red de plancton de 20 μm . Se determinó el número de especies utilizando una curva de acumulación y se recopilaron datos fisicoquímicos *in situ* con una sonda digital. Se encontró un total de 90 taxa de fitoplancton, agrupados en Bacillariophytas, Charophyta, Chlorophyta, Xanthophyta y Cyanobacteria. La especie más abundante fue *Melosira* sp. (Bacillariophyta). El ecosistema de la laguna se caracteriza como oligotrófico, con un pH promedio de 6,7, una concentración de oxígeno disuelto de 8,0 mg/L y una temperatura promedio de 13,8°C. Se observa una relación entre la altitud y el número de especies, el cual se ha incrementado considerablemente en las últimas dos décadas, así como la temperatura del agua. Se sugiere que la alta diversidad de microalgas en la laguna San Rafael se debe a la intensa luminosidad en las montañas de la región tropical.

Palabras clave: abundancia, Bacillariophyta, fitoplancton, microalgas.

Abstract

The San Rafael lagoon, located in the Puracé National Natural Park, is a sacred site of conservation value for the indigenous communities that inhabit this territory. In order to evaluate its conservation status, a study was conducted based on the diversity of phytoplankton present in its waters. Four samplings were carried out between June and October

2022, filtering 50 L of water through a 20 μm plankton net. The number of species was determined using an accumulation curve and *in situ* physicochemical data were collected with a digital probe. A total of 90 phytoplankton taxa were found, grouped into Bacillariophytas, Charophyta, Chlorophyta, Xanthophyta and Cyanobacteria. The most abundant species was *Melosira* sp. (Bacillariophyta). The lagoon ecosystem is characterized as oligotrophic, with an average pH of 6.7, a dissolved oxygen concentration of 8.0 mg/L and an average temperature of 13.8°C. A relationship is observed between altitude and the number of species, which has increased considerably in the last two decades, as well as water temperature. It is suggested that the high diversity of microalgae in Laguna San Rafael is due to the intense luminosity in the mountains of the tropical region.

Keywords: abundance, Bacillariophyta, phytoplankton, microalgae.

Introducción

La alta montaña alberga una diversidad de ecosistemas que se extienden desde los 2500 hasta los 5000 msnm. En esta franja altitudinal se encuentran diferentes pisos bioclimáticos, como el andino, alto andino, páramo bajo, páramo, súper páramo y glaciares o nevados (Flórez *et al.*, 2010). Los páramos son especialmente importantes debido a los servicios ecosistémicos que brindan, como la regulación y abastecimiento de agua, así como su valor cultural (Nieto *et al.*; 2015).

En Colombia existen 37 complejos de páramos protegidos en áreas designadas como reservas naturales (Banco Mundial, 2021). Estos ecosistemas son fundamentales para el suministro de agua a los ríos, ya que contribuyen a los caudales ecológicos (Cabrera y Ramírez, 2014). Además, los páramos ofrecen hábitats para una amplia variedad de especies, permitiendo interacciones entre los componentes físicos y biológicos. Estas redes de interacciones involucran el agua, los suelos, la vegetación, los microorganismos, la fauna y los seres humanos, formando la base del funcionamiento de los ecosistemas de alta montaña (Andinos, 2012).

Dentro de los ecosistemas de páramo se encuentran sistemas lagunares, como el que se localiza en el Parque Nacional Natural Puracé. Este sistema está compuesto por lagunas, entre las cuales se encuentra la laguna San Rafael o Andulbío. La gestión de este cuerpo de agua está a cargo tanto de Parques Nacionales como del Cabildo Indígena de Puracé, reconociendo su valor, tanto en términos de servicios ecosistémicos como culturales (Parques Nacionales Naturales, 2019).

El fitoplancton, que consiste en microalgas, desempeña un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos y forma parte de la red trófica pelágica (Núñez, 2008). Estas microalgas son consideradas productores primarios y su comunidad determina la dinámica de la red trófica, influyendo los procesos biogeoquímicos del ecosistema (Hallegraeff, 2010). El estudio del

fitoplancton en las lagunas de alta montaña, como la laguna San Rafael en el PNN Puracé, puede proporcionar información valiosa sobre la calidad del agua y las condiciones ambientales de este ecosistema.

El objetivo de esta investigación es evaluar el estado de conservación de la laguna San Rafael basándose en la diversidad de su comunidad fitoplanctónica.

Materiales y métodos

Área de estudio

La laguna San Rafael se encuentra ubicada en las coordenadas 2°22'14,14"N 76°21'10,72"O, al nororiente del Parque Nacional Natural Puracé, cerca del resguardo indígena de Puracé, a una altitud aproximada de 3300 msnm. Tiene una superficie de 16,78 has. Su principal afluente es la quebrada Chorrillos, desde este ecosistema acuático nace el río Bedón, que forma parte de la cuenca alta del río Magdalena (Fig. 1). La zona está rodeada por vegetación típica del páramo, como frailejones (*Espeletia* spp.), chuscales (*Chusquea* spp.) y pajonales (*Calamagrostis* spp.) (Martínez *et al.*, 2009).

Durante las visitas se observó que hay poca intervención humana en el área, ya que no se evidencian actividades económicas directas sobre el cuerpo de agua ni pisoteo, aunque hay informes de grupos de pescadores que frecuentan el lugar en busca de trucha para pesca recreativa.

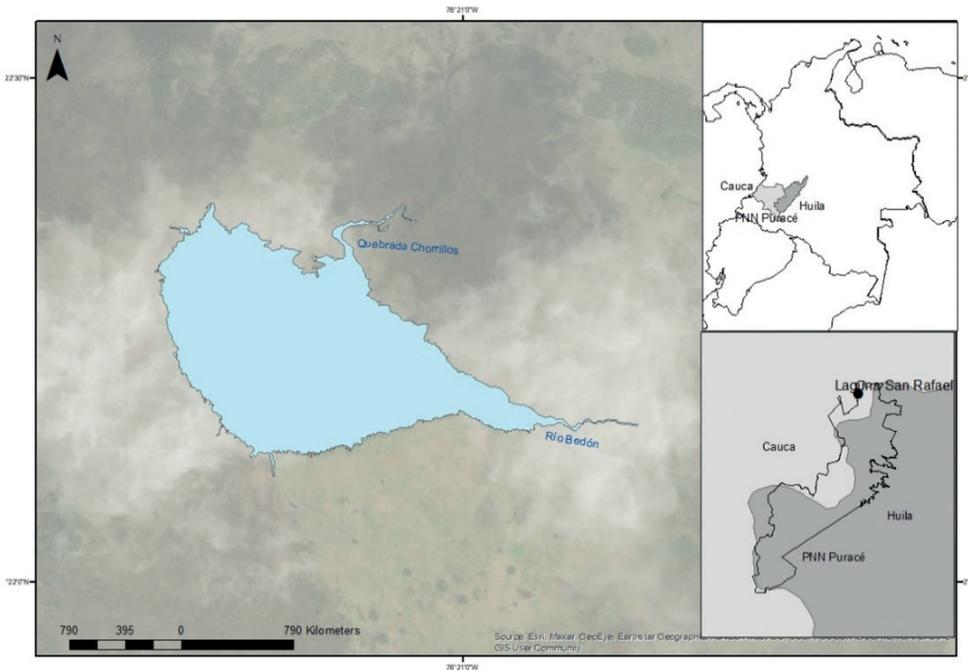


Figura 1: ubicación geográfica de la laguna San Rafael, PNN Puracé. Fuente: Ibagón N., 2023.

La laguna San Rafael experimenta cuatro periodos climáticos con dos periodos lluviosos entre marzo y junio y de septiembre a diciembre, y dos periodos secos desde mediados de diciembre hasta marzo y desde finales de junio hasta principios de septiembre. Esta laguna es considerada un sitio de valor cultural para el pueblo indígena Coconuco del resguardo de Puracé, pues dentro de este ecosistema acuático se llevan a cabo rituales de refrescamiento (Parques Nacionales Naturales, 2019).

Fase de campo

Se realizaron cuatro visitas a la laguna San Rafael con el propósito de recolectar

muestras de fitoplancton. Estas tuvieron lugar en distintos meses de 2022, correspondiendo a diferentes periodos climáticos. En junio (M-1), se recogieron muestras durante el periodo de lluvia, en julio (M-2) y septiembre (M-3) durante el periodo seco, y en octubre (M-4) durante periodo de lluvia. Las muestras de fitoplancton se obtuvieron en el borde de la laguna filtrando 50 L de agua a través de una red de plancton con una abertura de 20 μ m para obtener muestras cuantitativas, las cuales fueron envasadas en frascos de 500 ml y se preservaron in situ con una solución Transeau.

Fase de laboratorio

Se empleó un microscopio Leica ICC 50 W. Se observó directamente la muestra con aumentos de 10X y 40X, realizando un barrido en zigzag y registrando cada individuo de las diferentes taxas encontradas. Se midió el volumen de la muestra utilizado en cada análisis para calcular las densidades de microalgas correspondientes (M-1= 209 ml, M-2= 192 ml, M-3= 184 ml, M-4= 201 ml). La identificación de las diferentes taxa se llevó a cabo utilizando catálogos especializados, como los de Burgos y García (2007), Chivatá y López (2014), Donato (2001), Dos Santos (2016), Núñez-Avellaneda (2008), Pinilla (2000) y Ramírez (2000). Además, se utilizó el Sistema de Información Taxonómica Integrado (ITIS, por sus siglas en inglés) para verificar la jerarquía taxonómica de cada género y confirmar su validez.

Parámetros fisicoquímicos

Se tomaron mediciones de parámetros fisicoquímicos tanto in situ, utilizando una sonda multiparámetro HQ 40 de Hach, como ex situ, en el laboratorio. Los parámetros analizados incluyeron pH (método SM 4500H+B), conductividad (método SM2510), oxígeno disuelto y temperatura. Además, se registraron datos de turbidez (método SM2130B), sólidos suspendidos totales (método SM2450D), nitritos (método 8507 HACH), nitratos (método 8171 HACH), fosfatos (método 8048 HACH) y nitrógeno amoniacal (método M62 Lovivond).

Fase de Análisis

Se realizó una curva de acumulación por muestra para determinar la cantidad de alícuotas necesarias para describir la diversidad de las muestras. Se utilizaron tres índices ampliamente reconocidos: índice de diversidad de Shannon-Weaver (H), índice de dominancia de Simpson (λ) e índice de equidad de Pielou (J'). Estos proporcionan medidas cuantitativas y significativas de la riqueza de especies, dominancia relativa y equitatividad en la comunidad fitoplanctónica.

Se calcularon diferentes índices limnológicos para evaluar el estado trófico de la laguna relacionados con la presencia de cianofíceas, clorofíceas, diatomeas y euglenófitos, utilizando la relación entre el número de taxones de diferentes grupos de fitoplancton. También se calculó un índice compuesto que consideraba la presencia de múltiples grupos de fitoplancton.

$$\text{Índice para cianofíceas} = \frac{\text{número de taxones de desmidiaceas}}{\text{número de taxones de cianofíceas}}$$

$$\text{Índice para Clorofíceas} = \frac{\text{número de taxones de chlorococcales}}{\text{número de taxones de desmidiaceas}}$$

$$\text{Índice para diatomeas} = \frac{\text{número de taxones de diatomeas centricas}}{\text{número de taxones de diatomeas pennales}}$$

$$\text{Índice para euglenofita} = \frac{\text{número de taxones de euglenofitas}}{\text{número de taxones de cianofíceas mas chlorococcales}}$$

$$\text{Índice compuesto} = \frac{\text{numero de taxones de cianofíceas, mas chlorococcales mas ditomeas centricas mas euglenofitas}}{\text{número de taxones de desmidiáceas}}$$

Se realizó un análisis de correspondencia canónica para investigar la correlación entre las variables fisicoquímicas del entorno y la abundancia del fitoplancton. Se seleccionaron 21 especies abundantes y ocho factores fisicoquímicos para este análisis. El objetivo era determinar cómo las variables fisicoquímicas influían en la

distribución y abundancia del fitoplancton en la laguna (Tabla 1).

Este estudio forma parte de un proyecto más amplio enfocado en establecer una “Línea base para el estado ecológico de los ecosistemas lenticos valor objeto de conservación del PNN Puracé – segunda fase”, aprobado en la convocatoria 017 de “Proyecto Universidad Estado Empresa Sociedad” de la Fundación Universitaria de Popayán, 2021.

Tabla 1. Lista de fitoplancton y variables fisicoquímicas para análisis de correspondencia canónica

Especies		Variables fisicoquímicas.
Mel= Melosira sp	Tab= Tabellaria sp	pH
Eua= Euastrum sp	Nit= Nitzschia sp	C= conductividad
Tab 1= Tabellaria sp1	Nav= Navicula sp	=Temperatura
Clo= Closterium sp	Fra= Fragilaria sp	OD= Oxígeno Disuelto
Fra 1= Fragilaria sp1	Nit= Nitzschia sp1	TUR= turbiedad
Nav1= Navicula sp 1	Pin= Pinnularia sp	F= fosfatos
Gei= Geitlerinema sp	Sta= Stauronneis sp	SST= solidos suspendidos totales
Stau= Staurastrum	Clo1=Closterium	A= Alcalinidad
Cal= Caloneis sp	Osc=Oscillatoria sp	
Spi= Spirogyra sp,	Net= Netrium sp,	
Cos= Cosmarium sp	enc=Encyonema sp	

Resultados

Comunidad Fitoplanctónica

Los resultados obtenidos en el estudio de la comunidad fitoplanctónica de la laguna San Rafael PNN Puracé revelaron la presencia de 90 taxa diferentes en total. Estas taxa se distribuyeron en cinco phyla principales, siendo las Bacillariophyta (diatomeas) las más abundantes con 43 especies, seguidas de las Charophyta (algas verdes) con 26 especies (Tabla 2). Las diatomeas también fueron el grupo más dominante en términos de densidad, con una media de 20,06 cel/mL, seguidas por las algas verdes con 4,37 cel/mL. La especie *Melosira* sp. Fue la más abundante a lo largo del monitoreo (Fig.4). Las especies *Nitzschia* sp (Bacillariophyta), *Tabellaria* sp. (Bacillariophyta) las cuales

presentaron las mayores abundancias en el estudio (Anexo 1).

Al analizar los resultados por meses, se observó que el mes M-4 presentó la mayor riqueza con 74 taxa, seguido por el mes M-2 con 71 taxa (Tabla 2). En cuanto a la densidad, el mes M-3 registró la mayor cantidad de células por mililitro, con 9,35 cel/mL (Fig. 2) Las diatomeas dominaron en cada uno de los meses analizados, siendo la *Melosira* sp su especie dominante.

Al observar el análisis por meses de la riqueza por divisiones taxonómicas se puede decir que el patrón es constante en todos los meses, siempre las Bacillariophyta (diatomeas) fueron dominantes, seguida por las Charophyta (algas verdes), presentando menor riqueza la división Xanthophyta (alga verde) (Fig. 3).

Tabla 2. Riqueza y abundancia general de fitoplancton por grupos taxonómicos para la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé

División	N=abundancia(cel/mL)	S=riqueza (N.º de especies)
Bacillariophyta (Diatomea)	20,06	43
Charophyta (Alga verde)	4,37	26
Chlorophyta (Alga verde)	0,44	14
Cyanobacteria (Alga verde-azul)	0,85	6
Xanthophyta (alga verde)	0,003	1

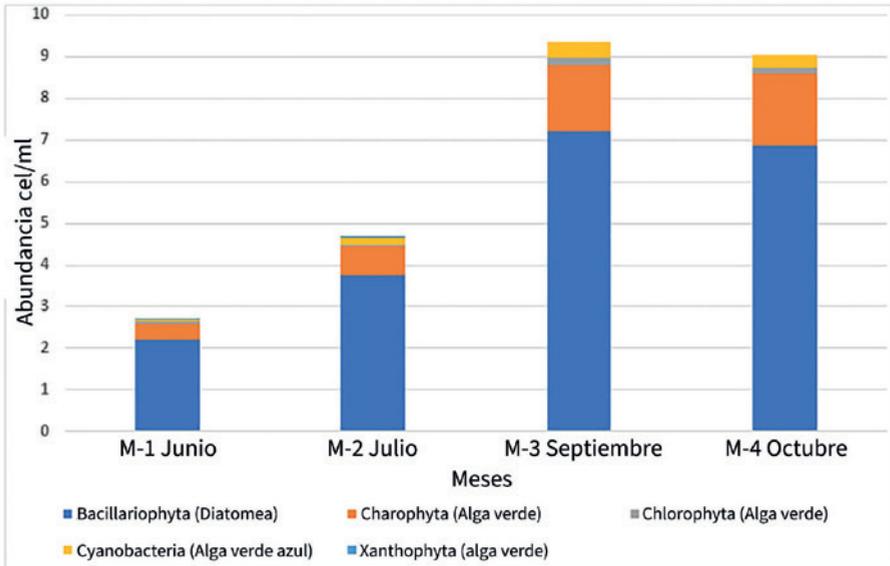


Figura 2. Densidad (cel/ml) de los grupos principales por mes de muestreo de fitoplancton en la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé.

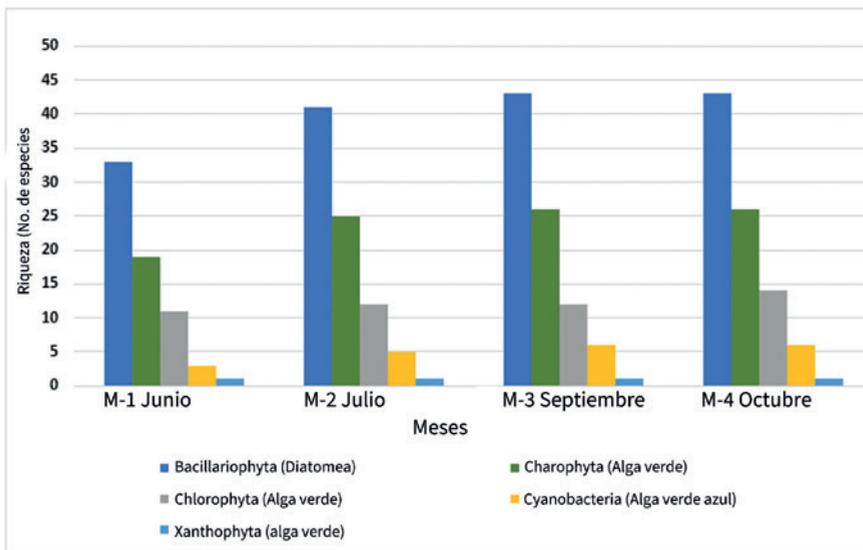


Figura 3. Riqueza de especies por mes de muestreo de fitoplancton en la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé.

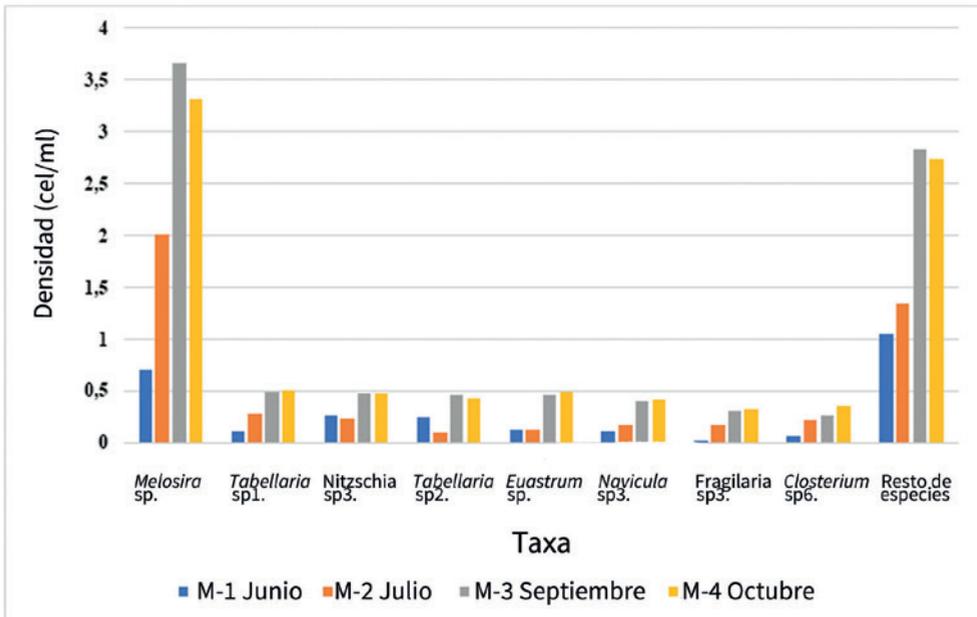


Figura 4. Densidad (cel/ml) de las taxa principales por mes de muestreo de fitoplancton en la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé.

El mes que exhibió la mayor riqueza en términos de diversidad de especies fue el M-4. Sin embargo, al analizar los demás índices de diversidad, se observa que el mes con la mayor diversidad fue el M-1, con un índice de diversidad (H') de 2,99. Además, este mes también presentó los valores más altos de equidad (J' = 0,71) y la menor dominancia ($1-D$ = 0,10). En orden descendente, los meses que le siguieron en términos de diversidad fueron M-4, M-3 y M-2, respectivamente (Tabla 3).

Índices limnológicos: los índices de Nygaard utilizados para estimar el estado trófico de la laguna indicaron que se encuentra en estado de oligotrofia en todos los meses,

tanto según el índice de clorofíceas como el índice compuesto. El índice de diatomeas reveló que es un ambiente pobre en nutrientes. (Tabla 4).

Parámetros fisicoquímicos: en relación con los parámetros fisicoquímicos, se registraron temperaturas entre 13,2 °C y 15,8 °C, pH ácido con valores entre 6,46 y 6,93, oxígeno disuelto entre 7,88 y 8,1 mg/L, y conductividad entre 9,57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 26,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La turbidez fue baja en general. Los valores de nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos y fosfatos indicaron concentraciones bajas o indetectables en la laguna (Tabla 5).

Tabla 3 Índices de diversidad de fitoplancton en la laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé por los meses de estudio

Índices	M-1	M-2	M-3	M-4
Taxa_S	67	71	67	74
Abundancia	3845	6904	13425	13570
Shannon_H	2,99	2,40	2,68	2,80
Simpson_1-D	0,89	0,77	0,82	0,84
Equitability_J	0,71	0,56	0,63	0,65
Porcentaje de densidad de Melosira sp.	26,19%	43,11%	39,14%	36,58%

Tabla 4 Índices de Nygaard de fitoplancton en la Laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé por los meses de estudio

Índices de Nygaard	M-1	M-2	M-3	M-4
Índices para clorofíceas	0,6 Oligotrófico	0,5 Oligotrófico	0,37 Oligotrófico	0,5 Oligotrófico
Índices para diatomeas	0,2 Pobre en nutrientes	0,26 Pobre en nutrientes	0,28 Pobre en nutrientes	0,21 Pobre en nutrientes
Índice compuesto	1,05 Oligotrófico	1 Oligotrófico	1,05 Oligotrófico	1,1 Oligotrófico

Tabla 5 Parámetros químicos del fitoplancton en la Laguna San Rafael – Parque Nacional Natural Puracé

Parámetros	M-1	M-2	M-3	M-4	Promedio
pH	6,5	6,9	6,9	6,5	6,7
Conductividad (μS/cm)	25,5	21,9	26,1	9,6	20,8
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,9	8,1	8,0	8,0	8,0
Temperatura °C	13,0	13,0	15,8	13,3	13,8
Turbidez UNT	3,8	1,9	1,9	1,3	2,2
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0,021	<0,01	0,036	0,001	0,019
Nitratos (mg/L)	<0,1	0	0	0,3	0,1
Nitritos (mg/L)	< 0,002	0	0,002	1	0,33
Fosfatos (mg/L)	<0,02	0,35	0,16	0,07	0,19
Sólidos suspendidos totales	0,015	1	<1	<20	0,508
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)		5,4	10	4,3	6,6
DBO (mg/L)	<6,0	<6	8	<6	

El análisis de Componentes Canónicos (CCA) revela relaciones entre las especies y las variables fisicoquímicas. En el primer eje de análisis, se encontró una correlación positiva del 52,12%, mientras que en el segundo eje la correlación fue del 46,53%. En la gráfica de CCA, se puede observar que las variables que muestran una correlación positiva son el oxígeno disuelto, el pH y el

fosfato, mientras que la turbidez muestra una correlación negativa (Fig. 5). En cuanto a las especies, se encontró una correlación positiva entre el fosfato y el oxígeno disuelto con la especie *Encyonema* sp.. Por otro lado, la alcalinidad y la temperatura se correlacionan negativamente con la especie *Oscillatoria* sp. Además, la conductividad se correlaciona negativamente con *Nitzschia* sp1.

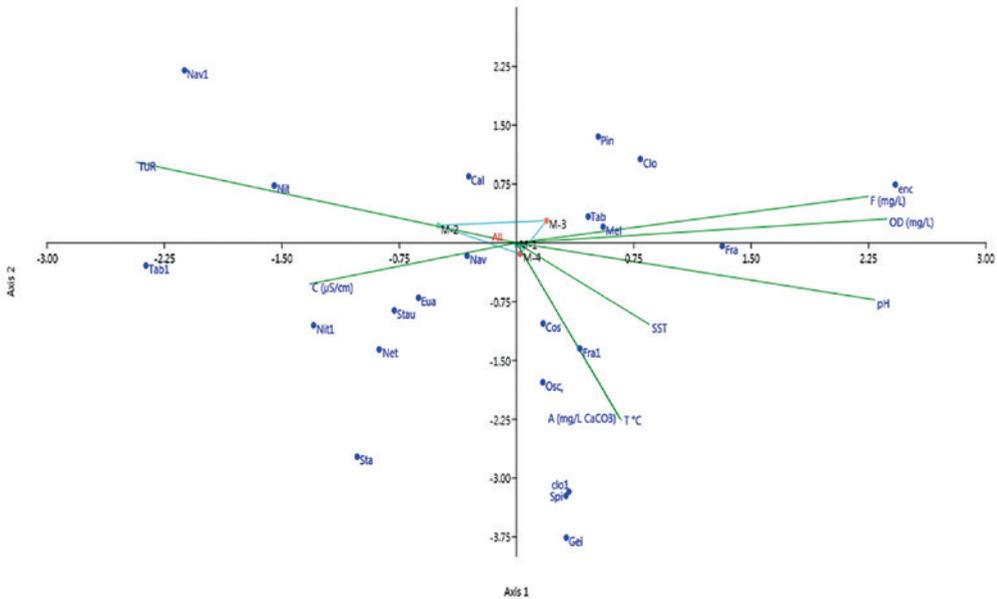


Figura 5. Análisis de correspondencia canónica abundancia y variables climática.

Discusión

La laguna San Rafael exhibe una mayor riqueza de fitoplancton que otras lagunas del Parque Nacional Natural Puracé. Por ejemplo, la laguna El Rebollero presenta 41 taxa, la laguna Magdalena 50 taxa, la laguna Santiago 56 taxa, la laguna Cusiayaco 44 taxa, la laguna Presentación 20 taxa y la laguna Larga 22 taxa (Donato, 2001). Adicionalmente, la laguna San Rafael ha experimentado un aumento en la abundancia y riqueza del fitoplancton en comparación con estudios anteriores realizados entre 1992 y 2001 (Donato, 1992; 2001). Estos cambios pueden atribuirse a la modificación en las condiciones ambientales, como el aumento en la temperatura, las precipitaciones y los cambios en el uso del suelo (Zapata

et al., 2021). Esta riqueza de microalgas fitoplanctónicas en una laguna a 3300 msnm es un hallazgo poco común, pues lo común es que la tendencia es que el número de especies disminuya con la altitud (Barta *et al.*, 2017). Se plantea la posibilidad de que la presencia de truchas en la laguna San Rafael esté causando un efecto cascada, donde el consumo de peces en los macroinvertebrados y zooplancton podría desencadenar un afloramiento de fitoplancton (Herrera *et al.*, 2017).

La composición del fitoplancton en la laguna San Rafael está dominada por las algas diatomeas, un grupo cosmopolita que puede encontrarse en diversos ambientes húmedos (Blanco *et al.*, 2010). Este grupo de microalgas también domina en otras

lagunas de alta montaña, como la laguna de Chingaza en Colombia (Donato, 1991), el embalse San Roque en Córdoba, Argentina (Daga *et al.*, 2020), la laguna La Viuda en Lima, Perú (Huanaco *et al.*, 2016) y la laguna San Rafael en estudios anteriores (Donato, 2001; Modesto-Iregui *et al.*, 2002).

La especie *Melosira* sp. (*M. Italica*) ha sido reportada en el fitoplancton de varias ubicaciones en Colombia, como Betania en Huila (Duque y Donato, 1988), Laguna de Fúquene, Chisacá de Boyacá Cundinamarca a una altitud de 2540 msnm (Donato *et al.*, 1987), Caño Choco en el departamento de Meta (Duque y Donato, 1992), y Ciénaga de San Antonio Magdalena (Osorio y Manjarrés, 2015). Esta especie actúa como un indicador biológico de ambientes oligotróficos y baja conductividad (Pinilla, 2000). La laguna San Rafael proporciona un entorno adecuado para esta especie, ya que es oligotrófica y tiene una baja conductividad.

La laguna San Rafael se encuentra en un estado oligotrófico, similar al que se evidenció en el estudio anterior realizado en 2001 (Donato, 2001). Este estado es común en lagunas de alta montaña, como la laguna Cumbal en Colombia (Donato, 1991) y la laguna Soto en Argentina (Poi *et al.*, 2016). La oligotrofia puede implicar una escasez de nutrientes, pero con un alto contenido de carbonatos, y puede encontrarse en diversos hábitats (Camacho *et al.*, 2010). Aunque el tamaño del cuerpo de agua se ha mantenido en 16,7 has desde 2014 (Plaza, 2014), es probable que durante la estación seca se vea reducido, al igual que el volumen de

agua, lo que podría resultar en un aumento de la concentración de nutrientes en el cuerpo de agua. Algunos autores que han medido previamente el tamaño del cuerpo de agua de la laguna San Rafael reportaron una notable disminución del mismo. Por ejemplo, Yasnó *et al.* (2000) reportaron un área de 26,5 ha (citado por Joaquín, 2005); Donato (2001) reportó 20 ha; Muñoz (2008) indicó un área aproximada de 18,9 ha, mientras que Imbachi (2014) mencionó un área de 15,7 ha.

En el presente estudio se evidencia un aumento en la temperatura del agua de la Laguna San Rafael desde 2001 hasta la actualidad de 9,06 °C – 10,2 °C (Donato, 2001) a 13 °C – 15 °C en 2022. Dicho aumento de temperatura atribuido al cambio climático no solo tiene un efecto en las dinámicas físicas del ecosistema, sino que también puede conllevar al aumento de microalgas sensibles a los cambios bruscos de temperatura y de las variables fisicoquímicas como el pH. La temperatura de los ambientes de alta montaña puede aumentar entre 0,1 °C – 0,2 °C (Pabón-Caicedo, 2012) y esto puede generar que muchos lagos lleguen a temperaturas de 20 °C, lo que puede ser fatal para los organismos, ya que las temperaturas altas aceleran su metabolismo, aumentando la demanda de oxígeno, transformando estos ecosistemas en lagos tropicales (Solorza, 2018; Zapata *et al.*, 2021). Al presentarse este aumento de temperatura, las lagunas y, en general, los ecosistemas

de páramo andino, se encontrarían vulnerables por el desequilibrio ecológico que se generaría cambios radicales en el paisaje, pasando de páramo a bosque (Romero y Castro, 2011). En este sentido, se ha demostrado que el cambio climático genera transformaciones drásticas en la composición de microalgas (diatomeas) en lagos andinos (Michelutti, *et al.*, 2015). Un estudio realizado en los Alpes suizos demostró que el aumento de la temperatura del agua resultó en cambios significativos en la composición del fitoplancton, como la disminución de especies sensibles al calor y aumento de especies que toleran el aumento del calor (Anneville *et al.*, 2005).

Debido al aumento de la temperatura en la laguna San Rafael desde 2001 (Donato; 2001) se esperaba un aumento en el pH (Koinig *et al.*; 1998), sin embargo, este presentó una disminución de 7,2 en 2001 a 6,7 en 2022, similar a los reportados por Plazas (2014) de 6,17 e Imbachi, (2014) de 6,5. Este parámetro se correlaciona positivamente con la composición de las especies de fitoplancton presentes en la laguna. La geomorfología y el sustrato de la laguna también pueden afectar el pH, pues si son ambientes de origen glaciar tienden a presentar estos valores bajos de pH (Criales *et al.*; 2020). La abundancia de diatomeas ha sido relacionada en lagos andinos de Colombia con factores como la acidez del agua (Muñoz y Rivera; 2022).

En el análisis de correspondencia canónica, se ha encontrado una correlación positiva entre el fosfato y el oxígeno disuelto con la composición de especies en la laguna. Los valores de oxígeno disuelto presentados por la laguna San Rafael son muy similares a los estudios anteriores en el mismo lugar (Donato, 2001). El oxígeno disuelto fue de 8,7 mg/L, y este valor puede deberse a la ubicación de la laguna, ya que está expuesta a fuertes vientos (Donato, 1991; Rivera, 2005). Tanto el fosfato como el nitrógeno influyen en la composición de las diatomeas (Muñoz y Rivera, 2022).

Conclusiones

Este estudio pone en evidencia el aumento en la riqueza de fitoplancton presente en la laguna San Rafael, así como la dominancia de la especie *Melosira* sp. y el aumento de temperatura del agua en los últimos años. Estos hallazgos son una alerta sobre el seguimiento de dicho cuerpo de agua y las demás lagunas del Parque Nacional Natural Puracé que están siendo afectadas por el cambio climático.

Aunque la laguna San Rafael se encuentra en estado oligotrófico, los cambios relatados en el fitoplancton y la presencia de trucha en el ecosistema son factores de riesgo que deben considerarse como alerta para continuar con las acciones de conservación implementadas por Parques Nacionales Naturales y las comunidades indígenas en el municipio de Puracé.

Referencias

Andinos, P. 2012. Ecología, hidrología y suelos de páramos. Autores: Luis Ll., Alejandra S., Rolando C., Bert De B., Boris O. and Pablo B. Ecuador. Pág. 238, 239. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56475.pdf>

Anneville, O., Gammeter, S., y Straile, D. 2005. Phosphorus decrease and climate variability: mediators of synchrony in phytoplankton changes among European peri-alpine lakes. *Freshwater Biology*, 50(10), 1731-1746. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01429.x>

Banco Mundial. 2021. Delimitación y protección de los 37 páramos de Colombia. World Bank. 14 pp.

Barta, B., Mouillet, C., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D. y Christoffersen, K. 2017. Glacial-fed and paramo lake ecosystems in the tropical high Andes. *Hydrobiologia* 813, 19–32 (2018). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3428-4>

Blanco Lanza, S., Álvarez Blanco, I., Cejudo Figueiras, C., Bécares Mantecón, E., Ector, L., García

Burgos, M. D., and García, E. 2007. Atlas de Microorganismos presentes en los humedales Andaluces. Consejo del Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España. 251 pp.

Cabrera, M. and W. Ramírez (Eds). 2014. Restauración ecológica de los páramos de Colombia Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt 296 pp. Disponible en: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31451>

Cai, Y., Qi, L., Shan, T., Liu, Y., Zhang, N., Lu, X., & Fan, Y. 2022. Application of Phytoplankton Taxonomic -Diversity Indices to Assess Trophic States in Barrier Lake: A Case of Jingpo Lake. *Diversity*, 14(11), 1003. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/d14111003>

Camacho, A., Borja, C., Valero-Garcés, B., Sahuquillo, M., Cirujano, S., Soria, J., Rico E., de la Hera A., Santamans, A., García, A., Chicote, A., and Gosálvez, R. 2010. Aguas oligo-mesotróficas calcáreas con vegetación de Chara spp. . En: Chivatá, J and López L. (2014) *Cartilla Ilustrada Fitoplancton y Zooplancton Humedal Córdoba*. Bogotá D.C. 39 pp.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2018. Guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/guia-nacional-para-la-modelacion-recurso-hidrico-superficial-continental/>

Criales-Hernández, M.I. Sanchez-Lobo, D.M. y Almeyda Osorio, J.K. 2020. Expanding the knowledge of plankton diversity of tropical lakes from the Northeast Colombian Andes. *Revista de Biología Tropical*, 68(Suppl. 2), S159-S176. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44347>

Cuna, E., Caballero, M., Zawisza, E., y Ruiz, C. 2015. Historia ambiental de un lago alpino en el centro de México. *Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas*, 18(2):97-106. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.09.001>

Cuna, E., Alcocer, J., Gaytán, M. y Caballero, M. 2022. Phytoplankton biodiversity in two tropical, high mountain lakes in central Mexico. *Diversity*, 14(1), 42. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/d14010042>

Daga, I. C., Fernández Belmonte, M. C. y Reyna, S. M. 2020. Composición algal y bioindicadores de calidad de agua. Caso de estudio: Embalse San Roque, Córdoba. Argentina. *Cuadernos del Curiham*. 26: 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.35305/curiham.v26io.143>

De León, L., y Chalar, G. 2003. Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial. *Limnetica*, 22(1-2), 103-113. Disponible en: <https://doi.org/10.23818/limn.22.07>

Donato R., J. C. 1991. Fitoplancton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. *Caldasia*, 16(79), 489–500. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/35656/36203>

Donato, J., Duque, S., Mora, E., y Osejo, L. 1987. Estructura y dinámica del fitoplancton de la Laguna de Fúquene (Cundinamarca, Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales*, 16(62), 113–144. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/23641387>

Donato–Rondón, J. C. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia): Composición y factores de distribución. ISBN: 958–9205–45–3 232 pp. Disponible en: <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/47>

Dos Santos, R. Melissa. 2006. Atlas: Algas del Paraguay Características e Importancia, Muestreo en Paraguay Clave de Identificación e Ilustraciones FACEN, 234 pp. Disponible en: <https://revistabioika.org/es/entrevista/post?id=117#!>

Duque, S., y Donato, J. 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. *Cuadernos divulgativos*, 35, 1–21.

Duque, S., y Donato, J. C. 1988. Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica de Betania, Huila Colombia. *Universitas Scientiarum*, 1(2), 29–52. Disponible en: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/5090>

Flórez, A., Barajas, A. F., Jaramillo, O., Martínez, N. J., Barrera, M. S., y Montoya, J. W. 2010. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Bogotá: IDEAM. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021769/Sistemas_morf_Territ_Col_Ideam_Contentido.pdf

Hallegraeff, G. M. 2010. Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: a formidable predictive challenge 1. *Journal of phycology*, 46(2), 220–235. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00815.x>

Herrera-Martínez, Y., Paggi, J. C., y García, C. B. 2017. Cascading effect of exotic fish fry on plankton community in a tropical Andean high mountain lake: a mesocosm experiment. *Journal of Limnology*, 76(2), 397-408. Disponible en: <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2017.1488>

Huanaco, J. L., Montoya Terreros, H., Castellanos Sánchez, P. L., y Quiroz Barraza, R. A. 2018. Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima, Perú) en agosto-noviembre 2016. *Arnaldoa*, 25(3), 1027-1040. Disponible en: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25314>

Imbachi, D. 2014. Integridad ecológica de la laguna San Rafael Parque Nacional Natural Puracé, Cauca. Universidad del Cauca, Popayán.

Joaqui, S.C. 2005. Análisis multitemporal de las coberturas vegetales para ecotopos paramunos caracterizando las intervenciones antrópicas, en una ventana del Parque Nacional Natural Puracé. Universidad del Cauca, Popayán.

Koinig, K. A., Schmidt, R., Sommaruga-Wögrath, S., Tessadri, R., y Psenner, R. 1998. Climate change as the primary cause for pH shifts in a high alpine lake. *Water, Air, and Soil Pollution*, 104, 167-180. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1004941013924>

Martínez, J., Figueroa, A., y Ramírez, B. 2009. Cambios de cobertura y fragmentación a través de un análisis espacio temporal en el Parque Nacional Natural Puracé. Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos, departamento del Cauca, 137-155.

Michelutti, N, Wolfe, A.P., Cooke, C.A., Hobbs W.O., Vuille, M. y Smol, J.P. 2015 Climate Change Forces New Ecological States in Tropical Andean Lakes. *PLoS ONE* 10(2): e0115338. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115338>

Modesto -Iregui, M., Guillot, G., y Donato, J. C. 2002. Dimensión fractal y relación área superficial/volumen de algas del fitoplancton de lagos colombianos. *Caldasia*, 24(1), 121-134. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/73138>

Montoya M, Y. y Aguirre R., N. 2013. Dinámica fisicoquímica de las aguas de un sistema de planicies inundables tropicales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (69), 256-273. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/430/43029812020.pdf>

Montoya-Moreno, Y. y Aguirre-Ramírez, N. 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical colombiana. *Hidrobiológica*, 18 (3), 189-197. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57822408002>

Muñoz, F. 2008. Caracterización biofísica, análisis espacio temporal y de erupción antrópica, para humedales alto andinos, caso tipo laguna de San Rafael (Zona Norte) Parque Nacional Natural Puracé y Humedal de Calvache. Universidad del Cauca, Popayán-Cauca.

Muñoz-López, C.L. y Rivera-Rondón, C.A. 2022. Diatom response to environmental gradients in the high mountain lakes of the Colombia's Eastern Range. *Aquat Sci* 84, 15. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00838-z>

Nieto, M., Cardona, L. y Agudelo, C. 2015. Análisis de servicios ecosistémicos. Provisión y regulación hídrica. En: Ungar, P. (ed.) (2015 ISBN 978-958-8889-49-8 96pp. Disponible en: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9296>

R.Duque, S., y NúñezAvellaneda, M. 2000. Microalgas Acuáticas de la Amazonía Colombiana. *Biota Colombiana*, 1 (2), 208-216. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/491/49110203.pdf>

Osorio-Ávila, F.J., y Manjarrés-García, G. A. 2015. Ficoperifiton asociado a macrófitas en la ciénaga Cerro de San Antonio, Magdalena-Colombia. *Intropica*, 10(1), 74-83. Disponible en: <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/1649>

Pabón Caicedo, J. D. 2012. Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(139), 261-278.

Pinilla, G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. 67pp.

Pla, L., 2006. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31 (8), 583-590. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>

Parques Nacionales Naturales. 2019. Plan de manejo ambiental Parque Nacional Natural Puracé 2020-2024. 180 p.

Plaza-Ortega, V., Valencia-Rojas, M. P., y Figueroa-Casas, A. 2017. Aplicación del índice integrado relativo de antropización (INRA), en un ecosistema de alta montaña. *Luna Azul*, (44), 80-93. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3217/321750362006/html/>

Plaza, V. 2014. Alteraciones antrópicas en el sistema lagunar San Rafael (Parque Nacional Natural Puracé) a través de tres subdivisiones de hábitat. Universidad del Cauca, Popayán.

Poi, ASG, Casco, SL, Neiff, JJ, Carnevali, RP y Gallardo, LL. 2016. Lagunas periurbanas de Corrientes Argentina: de la mesotrofia a la eutrofia un camino de ida y vuelta en 20 años. *Biología Acuática* 31: 1 - 9. Disponible en: <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/30708>

Pugnetti, A., y Bettinetti, R. 1999. Biomass and species structure of the phytoplankton of an high mountain lake (Lake Paione Superiore, Central Alps, Italy). *Journal of Limnology*, 58(2), 127-130. Disponible en: <https://doi.org/10.4081/jlimnol.1999.127>

Ramirez Restrepo J. J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios (No. 589.4 R1481f Ej. 1 019715). Editorial Universidad de Antioquia.

Ramírez, J.J. 2000. Variación diurna y estacional del contenido calórico, la estabilidad y el trabajo del viento en una laguna tropical. *Acta Limnol. Bras.* 12: 39-54. Disponible en <https://hdl.handle.net/10495/20586>

Rivera-R, C., Solano-M, D., Zapata-A, A., y Donato-R, J. 2005. Phytoplankton diversity in a tropical high mountain lake. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 29(1), 418-421. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03680770.2005.11902046>

Romero, J. A., and Castro, L. A. P. 2011. Siecha un bioma mágico que puede sufrir perturbaciones locales de origen biótico. *CapyCua*, 5(1), 2. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4020219>

Sánchez Castillo, P.M., L. Cruz-Pizarro and P. Carrillo. 1989. Caracterización del fitoplancton de las lagunas de alta montaña de sierra nevada (Granada, España) en relación con las características fisico-químicas del medio. *Limnetica*-5-1-p-37. Disponible en: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-5-1-p-37.pdf>

Solorza-Bejarano, J. (Ed.). 2018. Ecología y cambio climático en ecosistemas de alta montaña en Colombia. Bogotá D.C., Colombia: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. 68 pp.

Zapata, A.; Rivera-Rondón, C.A.; Valoyes, D.; Muñoz-López, C.L.; Mejía-Rocha, M. y Catalan, J. 2021. Páramo Lakes of Colombia: An Overview of Their Geographical Distribution and Physicochemical Characteristics. *Water*, 13, 2175. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w13162175>

Anexo 1. Diversidad de especies, laguna San Rafael, Parque Nacional Natural Puracé.

DIVISION	Especies	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Cel/ml
Bacillariophyta (Diatomea)	Melosira sp.	0,702936667	2,00064	3,662376667	3,30779	9,67374333
Charophyta (Alga verde)	Nitzschia sp3.	0,261946667	0,23424	0,479306667	0,46967	1,44516333
Bacillariophyta (Diatomea)	Tabellaria sp2.	0,243136667	0,1024	0,46816	0,43751	1,25120667
Bacillariophyta (Diatomea)	Navicula sp1.	0,164413333	0,14912	0,169986667	0,18224	0,66576
Chlorophyta (Alga verde)	Euastrum sp1.	0,120523333	0,13376	0,460496667	0,48642	1,2012
Chlorophyta (Alga verde)	Navicula sp3.	0,110073333	0,1664	0,406853333	0,41741	1,10073667
Bacillariophyta (Diatomea)	Tabellaria sp1.	0,1045	0,27968	0,485576667	0,50786	1,37761667
Bacillariophyta (Diatomea)	Colonia sp1.	0,07106	0,1536	0,075936667	0,04154	0,34213667
Bacillariophyta (Diatomea)	Navicula sp2.	0,066183333	0,01152	0,00836	0,00804	0,09410333
Bacillariophyta (Diatomea)	Closterium sp6.	0,062003333	0,21248	0,25707	0,35242	0,88397333
Bacillariophyta (Diatomea)	Cosmarium sp1.	0,062003333	0,01216	0	0	0,07416333

Charophyta (Alga verde)	<i>Pinnularia</i> sp4.	0,06061	0,00064	0,06061	0,05829	0,18015
Charophyta (Alga verde)	<i>Pinnularia</i> sp2.	0,057823333	0,15488	0,187403333	0,16616	0,56626667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Nitzschia</i> sp1.	0,055733333	0,032	0,17765	0,20971	0,47509333
Cyanobacteria (alga verde-azul)	<i>Sketonema</i> sp2.	0,053643333	0,01024	0,017416667	0,00871	0,09001
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Staurastrum</i> sp3.	0,04389	0,04288	0,1672	0,12864	0,38261
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Caloneis</i> sp.	0,043193333	0,07232	0,113556667	0,12462	0,33369
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Aulacoseria</i> sp1.	0,02926	0,0064	0	0	0,03566
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Asterionella</i> sp	0,02508	0,00576	0,00209	0,00201	0,03494
Cyanobacteria (alga verde-azul)	<i>Fragilaria</i> sp3.	0,023686667	0,17536	0,312106667	0,32227	0,83342333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Fragilaria</i> sp2.	0,0209	0,05696	0,21318	0,22043	0,51147
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Staurastrum</i> sp2.	0,018113333	0,01024	0	0	0,02835333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Stauroneis</i> sp.	0,017416667	0,02752	0,169986667	0,14204	0,35696333

Charophyta (Alga verde)	<i>Nétrium</i> sp1	0,017416667	0,01216	0,07315	0,08978	0,192506667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Fragilaria</i> sp1.	0,015326667	0,04032	0,053643333	0,06097	0,17026
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Cosmarium</i> sp2.	0,013236667	0,00192	0,006966667	0,00804	0,030163333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Closterium</i> sp2.	0,01254	0,00128	0	0	0,01382
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Cosmarium</i> sp3.	0,01254	0,0256	0,08569	0,07705	0,20088
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Pediastrum</i> sp.	0,01254	0,03072	0,130276667	0,06097	0,23450667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Cerataulina</i> sp	0,011843333	0,0032	0	0	0,01504333
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Asterococcus</i> sp1.	0,01146667	0,00064	0,009056667	0,0067	0,02754333
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Chlorella</i> sp.	0,01146667	0	0	0	0,0114667
Cyanobacteria (alga verde-azul)	<i>Oscillatoria</i> sp.	0,01146667	0,02176	0,113556667	0,11524	0,26170333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Synedra</i> sp.	0,01045	0,00128	0,003483333	0,00335	0,01856333
Charophyta (Alga verde)	<i>Microspora</i> sp1.	0,009753333	0,016	0,00209	0,00335	0,03119333

Cyanobacteria (alga verde- de-azul)	<i>Mougeotia</i> sp.	0,009056667	0	0,005573333	0,01541	0,03004
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Scenedesmus</i> sp.	0,00836	0,00256	0	0,00201	0,01293
Cyanobacteria (alga verde- de-azul)	<i>Spyrogyra</i> sp2.	0,007663333	0,00768	0,03971	0,03082	0,08587333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Diatoma</i> sp.	0,006966667	0	0	0,00067	0,00763667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Euastrum</i> sp2.	0,006966667	0,0064	0,034833333	0,03015	0,07835
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Aulacoseria</i> sp2.	0,00627	0,00192	0,00209	0,00201	0,01229
Charophyta (Alga verde)	<i>Oocystis</i> sp2.	0,005573333	0,00256	0,003483333	0,0067	0,01831667
Charophyta (Alga verde)	<i>Pinnularia</i> sp1.	0,005573333	0	0	0	0,00557333
Charophyta (Alga verde)	<i>Surirella</i> sp.	0,005573333	0,00448	0,009753333	0,00938	0,02918667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Chlosterium</i> sp1.	0,004876667	0,00128	0,000696667	0	0,00685333
Charophyta (Alga verde)	<i>Fragilaria</i> sp4.	0,004876667	0	0	0,00268	0,0075667
Charophyta (Alga verde)	<i>Pinnularia</i> sp3.	0,004876667	0,00128	0,004876667	0,00268	0,01371333

Chlorophyta (Alga verde)	<i>Ankyra</i> sp	0,00418	0	0	0	0	0,00418
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Closterium</i> sp5.	0,00418	0	0	0	0	0,00418
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Hyalotheca</i> sp.	0,00418	0,15424	0,034136667	0,04757	0,00402	0,24012667
Charophyta (Alga verde)	<i>Skeletonema</i> sp1.	0,003483333	0	0,00418	0,00402	0,00402	0,01168333
Charophyta (Alga verde)	<i>Spirogyra</i> sp1.	0,003483333	0,00704	0,126793333	0,09447	0,09447	0,23178667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Colonia</i> sp2.	0,00209	0,00064	0	0	0	0,00273
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Cymbella</i> sp.	0,00209	0	0	0,00134	0,00134	0,00343
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Gaillardinema</i> sp.	0,00209	0,00256	0,212483333	0,15075	0,15075	0,36788333
Charophyta (Alga verde)	<i>Oocystis</i> sp3.	0,00209	0,00512	0,017416667	0,01943	0,01943	0,04405667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Spondylosium</i> sp.	0,00209	0,00256	0	0	0	0,00465
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Thalassionema</i> sp.	0,00209	0,00512	0	0	0	0,00721
Cyanobacteria (Alga verde- de-azul)	<i>Aphanothece</i> sp.	0,001393333	0	0	0	0	0,00139333
Xanthophyta (alga verde)	<i>Botrydiopsis</i> sp.	0,001393333	0,00128	0	0	0	0,00267333

Charophyta (Alga verde)	<i>Netrium</i> sp2.	0,001393333	0,00192	0,002786667	0,00469	0,01079
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Asterococcus</i> sp2.	0,000696667	0,00512	0,000696667	0,00067	0,00718333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Brachysira</i> sp.	0,000696667	0	0	0	0,00069667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Closterium</i> sp3.	0,000696667	0,00832	0,07315	0,04757	0,12973667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Microspora</i> sp2.	0,000696667	0	0	0	0,00069667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Planktosphaeria</i> sp	0,000696667	0	0,01146667	0,01474	0,02658333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Amphora</i> sp	0	0,00128	0	0,00804	0,00932
Cyanobacteria (alga verde- de-azul)	<i>Anabaena</i> sp	0	0	0,00418	0,00804	0,01222
Charophyta (Alga verde)	<i>Bulbochaete</i> sp	0	0,01984	0,000696667	0,000696667	0,02123333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Chaetoceros</i> sp.	0	0	0,005573333	0,01809	0,02366333
Chlorophyta (Alga verde)	<i>closterium</i> sp4.	0	0,00832	0,107286667	0,1407	0,25630667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Coconeis</i> sp1.	0	0,02176	0,013933333	0,01474	0,05043333
Charophyta (Alga verde)	<i>Cymatopleura</i> sp.	0	0,00256	0,00209	0,00402	0,00867

Charophyta (Alga verde)	<i>Desmidiium</i> sp.	0	0	0,015326667	0,01943	0,03475667
Charophyta (Alga verde)	<i>Encyonema</i> sp.	0	0,016	0,093333333	0,07035	0,17970333
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Eunotia</i> sp.	0	0,01024	0,001303333	0,00938	0,02101333
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Gloeocystis</i> sp.	0	0	0	0,00603	0,00603
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Micrasterias</i> sp.	0	0	0	0,00402	0,00402
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Nitzschia</i> sp2.	0	0,00128	0,01146667	0,01474	0,02716667
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Nostoc</i> sp	0	0	0,03553	0,03886	0,07439
Charophyta (Alga verde)	<i>Oocystis</i> sp1.	0	0,00064	0	0,01206	0,0127
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Pleurotaenium</i> sp.	0	0,00256	0,02299	0,03752	0,06307
Chlorophyta (Alga verde)	<i>Rhopalodia</i> sp.	0	0	0,00209	0,0067	0,00879
Charophyta (Alga verde)	<i>Sellaphora</i> sp.	0	0,00128	0,00209	0,00804	0,01141

Charophyta (Alga verde)	<i>Sirogonium</i> sp.	0	0,00384	0,000696667	0,01072	0,01525667
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Sphaerocystis</i> sp.	0	0,07616	0	0	0,07616
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Staurastrum</i> sp4.	0	0	0,06897	0,05494	0,12391
Charophyta (Alga verde)	<i>Thalassionema</i> sp.	0	0,00448	0,004876667	0,01675	0,02610667
Charophyta (Alga verde)	<i>Spirulina</i> sp.		0,04032	0,00418	0,01407	0,05857
Bacillariophyta (Diatomea)	<i>Staurastrum</i> sp1.		0,00256	0,001393333	0,01675	0,02070333

Manejo adaptativo del territorio para la gestión hídrica en fuentes abastecedoras de Popayán, Cauca (Colombia)

Adaptive land management for water supply resources managing from Popayán, Cauca (Colombia)

Liliana Recaman-Mejía¹
Diego Edinson Lara-Rivera²
Andrés Felipe Liévano-Bonilla³
Hugo Portela-Guarín⁴

*¹Planeación y Estudios Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., Fundación Procuencia Río Las Piedras.
E-mail: lilianarecaman@unicauca.edu.co*

*²Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., Fundación Procuencia Río Las Piedras, Fondo del Agua.
E-mail: diegoelr7@gmail.com*

*³Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., Fundación Procuencia Río Las Piedras, Fondo del Agua.
E-mail: aflb73@gmail.com*

*⁴Departamento de Antropología y Doctorado en Ciencias Ambientales, Grupo de Investigación Antropos, Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Departamento de Antropología, Universidad del Cauca.
E-mail:hportela@unicauca.edu.co*

Resumen

El nuevo reto de la gestión integral del recurso hídrico de los ecosistemas de alta montaña está en la puesta en marcha de un enfoque del manejo adaptativo del territorio. En este artículo se presenta el caso de la subcuenca río Las Piedras, ubicada en el departamento del Cauca. Los resultados reflejan

Historia del artículo

Fecha de recepción:
02-05-2023
Fecha de aceptación:
23-08-2023

DOI: 10.47374/
novcol.2023.v18.2301

el fortalecimiento de los procesos sociales para transformar el territorio, siendo la gobernanza la clave para abordar la resolución de conflictos por la tenencia de la tierra, que pasó del 54,4% en 1989 al 17,1% en 2016. A lo anterior se suma la planificación ambiental a nivel predial que permitió cambios de coberturas, entre ellos, los mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales, pasando del 7,7% al 29% con una ganancia del 21,3% y disminución de pastos limpios en un 20,4%, permitiendo la recuperación de zonas de conservación y el desarrollo de prácticas de adaptación a la variabilidad climática, reflejándose en la regulación hídrica para el abastecimiento de comunidades urbanas y rurales. Se puede inferir que los sistemas socioecológicos que se fortalecen a través de la gobernanza de su territorio, tienen un mayor impacto en las acciones de planificación y gestión de los servicios ecosistémicos y una mayor sostenibilidad del recurso hídrico.

Palabras clave: sistemas socioecológicos, ecosistemas de alta montaña, gobernanza, prácticas de manejo, adaptación.

Abstract

The new challenge of integrated water resource management in high mountain ecosystems lies in the implementation of an adaptive territorial management approach. This article presents the case of the Las Piedras river sub-basin, located in the department of Cauca. The results reflect the strengthening of social processes to transform the territory, with governance being the key to address land tenure conflict

resolution, which went from 54.4% in 1989 to 17.1% in 2016. In addition to the above, environmental planning at the farm level allowed for changes in coverages, including crop mosaics, pastures and natural spaces, going from 7.7% to 29% with a gain of 21.3% and a decrease of clean pastures by 20.4%, allowing the recovery of conservation areas and the development of practices for adaptation to climate variability, reflected in water regulation for the supply of urban and rural communities. It can be inferred that socio-ecological systems that are strengthened through the governance of their territory have a greater impact on planning and management actions for ecosystem services and greater sustainability of water resources.

Key words: socio-ecological systems, high mountain ecosystems, governance, management practices, adaptation.

Introducción

Los ecosistemas de alta montaña funcionan como sistemas adaptativos complejos, la naturaleza se entrelaza con los sistemas socioecológicos propios y se integran a la biosfera, coevolucionando y dependiendo de ella, incidiendo en los procesos de aprovechamiento de los servicios ecosistémicos (Folke *et al.*, 2016). La incorporación del capital natural de los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones forma parte de nuevos desafíos, que influyen en la sostenibilidad de la gestión integral del recurso hídrico (Guerry *et al.*, 2015; Gunderson *et al.*, 2016). La gobernanza hace parte de estos retos y proporciona

elementos para mejorar aspectos como capacidad de adaptación, colaboración, escala de intervención, conocimiento y aprendizaje, inclusión y equidad, generando así cambios a corto y largo plazo en relación con las políticas públicas (Karpouzoglou *et al.*, 2016), y por ende, con las políticas internas de las comunidades, acercándose a una gobernanza adaptativa que permita abordar el territorio de acuerdo a las particularidades de cada región. De forma similar, la gobernanza transformadora implica una capacidad adicional para fomentar nuevos regímenes socioecológicos, incluyendo mayor tolerancia al riesgo, inversión sistémica significativa, economías reestructuradas y relaciones de poder (Chaffin *et al.*, 2016), las cuales requieren comprender mejor las interacciones socio-ecológicas entre las regiones (Felipe-Lucía *et al.*, 2015; Fischer *et al.*, 2015).

Profundizar sobre las particularidades y la interrelación entre los subsistemas biofísicos y socioculturales, dependerá finalmente de la respuesta para lograr integralidad, conociendo conflictos, puntos de encuentro, concertación y dinámicas para construir estrategias de ordenamiento (Nates, 2011). Dicho proceso deberá tener en cuenta las transformaciones y considerar las nuevas propiedades que emergen por la interacción, y que se integran para producir propiedades nuevas y especiales (Odum, 2007). Los servicios ecosistémicos considerados como los beneficios que los ecosistemas brindan a las comunidades humanas, los servicios ambientales considerados como las actividades de gestión que los humanos

realizan en los ecosistemas, los bienes intangibles que dependen del contexto cultural como la cosmovisión del territorio y que generan una comprensión del mismo y cómo se utiliza, forman parte de un todo y de la complejidad del sistema y se pueden asociar como propiedades emergentes (Guerry *et al.*, 2015; Schultz *et al.*, 2015; Chaffin *et al.*, 2016; Karpouzoglou *et al.*, 2016).

A lo anterior se suman las respuestas de adaptación, que se pueden considerar también como otra propiedad emergente, que se caracteriza por relaciones no lineales, dinámicas que dan lugar a discontinuidades y sorpresas (Gunderson y Holling, 2002; Levin, 2001). Así mismo, las dinámicas de cambio, tanto a nivel ambiental como social, se acoplan y forman parte de un sistema adaptativo complejo (Folke *et al.*, 2003). Esto se une a la reflexión de Burgos (2011), quien considera que el manejo adaptativo de los recursos hídricos permite atender la incertidumbre y la complejidad de los sistemas naturales y sociales, entre ellas, la dimensión cultural que trasciende en los cambios organizativos, las prácticas locales relacionadas con el ambiente y la naturaleza siendo resignificadas y/o transformadas (Ulloa, 2011).

Teniendo en cuenta cada uno de los aspectos descritos, en este trabajo se identifican las formas de manejo y gestión asociados a los procesos de ordenamiento del territorio y se establecen las cosmovisiones que las sustentan en la cuenca de alta montaña, subcuenca río Las Piedras, principal fuente de abastecimiento hídrico de la capital del departamento del Cauca.

Materiales y métodos

Área de estudio

La unidad de análisis de la investigación se localiza en el municipio de Popayán, subcuenca río Las Piedras que forma parte de la red hídrica de la Gran Cuenca Cauca, departamento del Cauca, con coordenadas Longitud: -76,454444 y Latitud: 2,435523 (Fig. 1). El rango altitudinal está entre los 1980 y 3800 msnm y su extensión es de 6596 hectáreas, de acuerdo a la delimitación morfométrica realizada con el Modelo

Digital de Terreno (MDT) de GeoSAR con una resolución de 5 m píxel, obtenido a partir de la colección de datos abiertos de NASA Earthdata (2017).

Revisión documental

Se destaca la consulta documental de los resultados obtenidos durante el proceso de manejo ambiental realizado a lo largo de 27 años en la subcuenca, a través de los diferentes proyectos ejecutados en coordinación con instituciones y comunidad y por trabajos directos de las

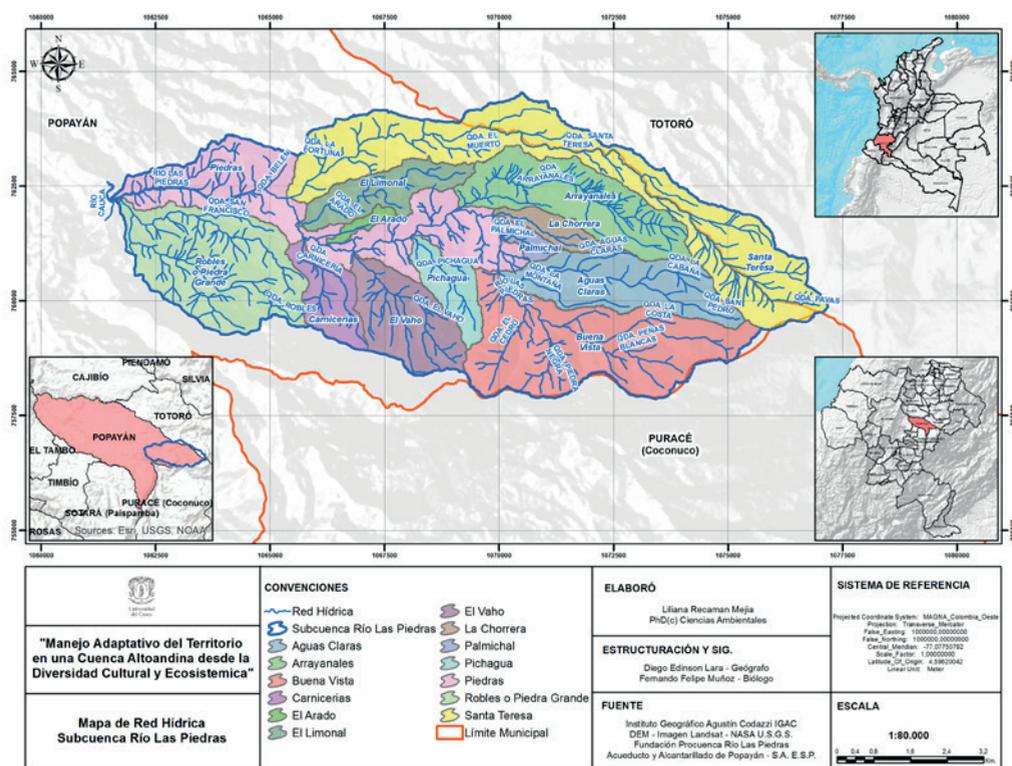


Figura 1. Localización y red hídrica de la subcuenca río Las Piedras.

organizaciones sociales representados en campesinos de la Asociación Campesina - Red de Reservas Municipio de Popayán (Asocampo), Asociación de Productores de Quintana (Asoproquintana) y comunidades indígenas de los cabildos de Quintana y Puracé pertenecientes a la red de custodios de semillas y al sistema de alertas agroclimáticas tempranas participativas.

De otra parte, se consultó el análisis de resultados de diferentes proyectos ejecutados a través instituciones, programas y agencias de cooperación internacional como: Fundación Pro Cuenca Río Las Piedras, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, Alcaldía Municipal Popayán, Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), Programa Conjunto de las Naciones Unidas, Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) y el Programa para el Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria para América Latina (CCAFS).

Caracterización de coberturas de la tierra

Para la caracterización de las coberturas de la tierra se utilizó la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra según la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 (IDEAM, 2010). Se utilizaron como insumo para la clasificación de coberturas las imágenes satelitales Landsat y se tuvo como medio de verificación de coberturas las imágenes Sentinel 2015 y Rapideye 2014. Se utilizaron categorías de asociación de coberturas tomadas de CORINE como el mosaico de cultivos, pastos y espacios

naturales y se rectificaron las unidades con puntos de control establecidos en los recorridos de campo.

Clasificación supervisada

Para la clasificación de coberturas de la tierra se utilizó la extensión ArcGIS Spatial Analyst en el software ArcGIS versión 10.5. Para identificar las coberturas CORINE Land Cover, se utilizó una abreviatura para la visualización de convenciones en gráficos de la siguiente manera: Bosque Abierto (BA), Bosque Denso (BD), Bosque Fragmentado/ Galería Ripario (BF/GR), Herbazal Denso (HD), Laguna (Embalse) (LAG), Mosaico de Cultivos Pastos y Espacios Naturales (MCPEN), Pastos Limpios (PL). Cabe resaltar, que el mapeo de la cobertura terrestre utilizando percepción remota ha permitido desarrollar investigaciones científicas sobre el comportamiento de la cobertura de la tierra (Pinos-Arévalo, 2016; Ma *et al.*, 2017), como es el caso aplicado a la dinámica de boques y pastos que se evidencia en la subcuenca río Las Piedras.

Análisis de cambios de coberturas

Para analizar y medir el índice de cambios de coberturas de la tierra se utilizó el Modelador del Cambio de la Tierra (Land Change Modeller: LCM) del Centro de Recursos Idrisi España (2004). De esta manera espacializar el cambio potencial de coberturas e identificar ganancias y pérdidas en un periodo determinado, como lo argumentan investigaciones detalladas sobre la aplicación de modelos para medir el cambio de coberturas y usos del suelo (Bax

et al., 2016; Leija-Loredo *et al.*, 2016; Olmedo *et al.*, 2015, Wang *et al.*, 2016). Para realizar el análisis de cambios el LCM se utilizó la clasificación de las imágenes satelitales de dos o más temporalidades, realizando una interpolación entre la clasificación de una imagen en dos periodos diferentes que arroja mapas, gráficos e informes (Adedeji *et al.*, 2015; Clark Labs, 2012; Eastman, 2012; Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2016; Muñoz-Gómez *et al.*, 2018; Palomeque-De la Cruz *et al.*, 2017; Rawat y Kummur, 2015; Senisterra *et al.*, 2015; Uddin *et al.*, 2015).

Se tuvo en cuenta la información del primer Plan de Manejo de la subcuenca río Las Piedras ejecutado en 1990 (CVC, 1990) y las adiciones realizadas en el Plan de Manejo del año 2006 (CRC, 2006). Adicionalmente, se relaciona un análisis del conflicto por tenencia de la tierra y su relación con el manejo de la subcuenca (Recaman-Mejía, 2007). Cabe resaltar que esta información de cartografía temática se relacionó a su vez con el análisis de las prácticas de manejo del territorio que las comunidades implementan, definiendo en ellas una evolución en la que se adoptan buenas prácticas de adaptación ante los fenómenos de variabilidad climática y prácticas negativas, que aún persisten y podrían afectar la estabilidad futura de algunas zonas. Para el análisis de los cambios en la tenencia de la tierra se realizó la vectorización digital de la información predial de 1989 y 2016, a partir de las planchas heliográficas adquiridas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), informes institucionales, entrevistas con actores sociales e investigación en el territorio.

Prácticas de adaptación

Para abordar los procesos de adaptación en el territorio se consideraron tres hitos históricos.

El primero corresponde al estudio de vulnerabilidad realizado en el proyecto “Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano cuenca Cauca”, del Programa Conjunto de Naciones Unidas durante el período del 2008 al 2011. En este artículo se retoman los resultados del análisis de vulnerabilidad del territorio de la subcuenca río Las Piedras, especialmente la vulnerabilidad climática, la cual fue determinada de manera cualitativa por los actores sociales e institucionales, relacionando la combinación de la sensibilidad de los sistemas productivos, agua y áreas naturales y su capacidad para manejar sus impactos, así mismo, la definición de una ruta de adaptación.

El segundo hito corresponde a la reflexión sobre cómo la vulnerabilidad climática influye en la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos y ambientales. Este análisis se realizó durante 2012 con el Grupo de Estudios Ambientales (GEA) de la Universidad del Cauca, con la participación de estudiantes del Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca, funcionarios del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, la Fundación Procuenca Río Las Piedras y actores campesinos de la Red de Reservas de la Sociedad Civil de Popayán (Asocampo).

El tercer hito corresponde al período entre 2012 y 2016, cuando se adelantaron proyectos con el apoyo de cooperación internacional como la Agencia de Cooperación Alemana GIZ; Programa para el Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria para América Latina (CCAFLS); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la articulación interinstitucional de la Fundación Procuena Río Las Piedras, el Acueducto y Alcantarillado de Popayán y la participación de algunos sectores comunitarios de comunidades indígenas y campesinas.

En el marco de la investigación doctoral realizada por Recaman-Mejía (2017) sobre el enfoque del manejo adaptativo del territorio, se analizaron las prácticas de adaptación de mayor relevancia para las comunidades a partir de la percepción comunitaria de acuerdo a sus conocimientos y experiencias, que generaron cambios asociados a las coberturas de uso, gestión del riesgo y que han permitido una mayor sostenibilidad en la regulación hídrica del socioecosistema. La metodología utilizada fueron los intercambios culturales, que permitieron identificar y unificar criterios en la selección de prácticas y construir una línea de tiempo donde se identificaron los principales hitos históricos de transformación territorial, complementados por la revisión y análisis documental. Para el desarrollo de este componente se seleccionaron algunas familias para evaluar nueve prácticas de manejo asociadas a la adaptación y conocer los beneficios, barreras y estrategias para

su sostenibilidad. En total se entrevistaron 81 familias entre campesinas e indígenas custodios de semillas que forman parte del Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas Participativas (SAATP). Lo anterior, se integró con el análisis espacio temporal de los cambios de coberturas.

Resultados y discusión

Caracterización de coberturas de la tierra

En las figuras 2 y 3 se muestra el porcentaje de cambio en las coberturas y sus respectivos mapas entre los años 1989 y 2016, donde se observa que para 1989 la cobertura de PL cuenta con un 39,5%, ya que estas zonas estaban dedicadas a la ganadería extensiva y no se asociaban con prácticas de manejo, seguido del BF/GR con 33,1%. Sobre estas zonas de conservación y protección se ejercía una presión permanente para la obtención de leña y habilitación de nuevos potreros para la ganadería, según los valores de disminución de BD que pasaron de 10% en 1989 a 8,7% en 2016, para un porcentaje de disminución de 1,3% en 27 años. De acuerdo al análisis de los documentos del primer plan de manejo de la subcuena en 1990 (CVC, 1990) y entrevistas con actores comunitarios e institucionales, predominaban en mayor porcentaje los pastos, esto como resultado de la ganadería extensiva, estimulada desde la época de la colonia por las grandes haciendas (Recaman-Mejía, 2017).

En la parte alta de la subcuena se observan el BD con el 10% y coberturas de páramo HD ubicadas en el flanco oriental

con el 1,7% de la subcuenca. La actividad ganadera también implicó la limpieza de potreros y presión sobre estas zonas de conservación para la ampliación de la frontera agropecuaria; el BA representaba el 7,9%. Es posible localizar el MCPEN con un 7,7% donde se incluyen huertas caseras, pastos para la ganadería, áreas de protección y recuperación de bosques (Fig. 2). Estas asociaciones de manejo estaban muy ligadas a prácticas culturales tradicionales de las comunidades campesinas e indígenas en las que se tenía producción de cultivos básicos como maíz, frijol, cabuya (fique) y algunos productos de pan coger (Recaman-Mejía, 2017). Por último, se clasificó la laguna (Embalse La Florida 2) con un 0,1% del

porcentaje del área total (6596 ha.), zona construida para la generación de energía con el aprovechamiento de las aguas del río Cauca y dos afluentes del río Piedras.

Los procesos adelantados de manera posterior estuvieron influenciados por hitos históricos de manejo en este territorio, entre ellos se resalta el desarrollo de proyectos piloto con procesos de planificación ambiental que fueron replicados en parcelas familiares, mejorando las acciones de conservación de bosques y ecosistemas de regulación hídrica, incremento en los sistemas productivos y diversificación, mejorando la seguridad alimentaria e inclusión de sistemas silvopastoriles con siembra de especies doble propósito como

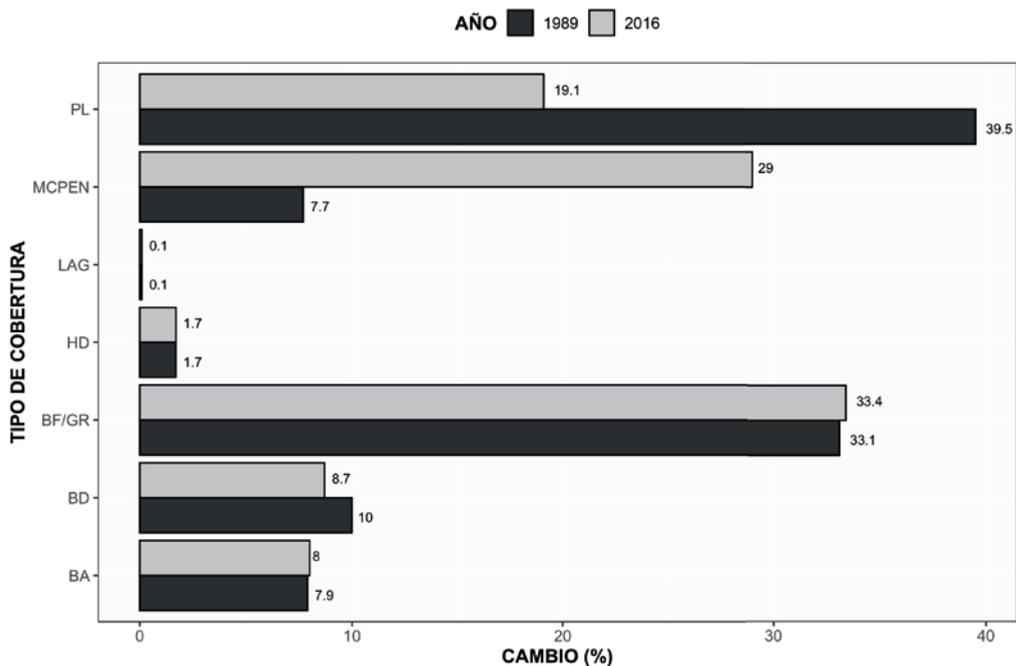


Figura 2. Porcentaje de cambio en las coberturas de la tierra entre 1989 y 2016.

botón de oro (*Tithonia diversifolia*), aliso (*Alnus acuminata*) y acacia negra (*Acacia melanoxylo*), con alternativas de manejo para la ganadería disminuyendo conflictos por el uso del suelo.

Paralelamente se generaron procesos comunitarios que fortalecieron la gobernanza, como la constitución de la red de reservas naturales de la sociedad civil¹; la firma del pacto de paz y convivencia²; la formulación del segundo plan de manejo de la subcuenca³; la participación en la resolución de conflictos por la tenencia de la tierra; ejecución de proyectos definidos a partir de su vulnerabilidad y ruta de adaptación⁴ para la seguridad alimentaria, agua, territorio y gestión del riesgo; desarrollo de proyectos con medidas de adaptación impulsados por el gobierno

local y la cooperación internacional⁵, entre ellos, la estructuración del SAATP; la aplicación de la metodología ASAC⁶ con pilares en seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. Se consideraron también los proyectos resultado de la iniciativa propia de las comunidades que permitieron cambios positivos en el manejo del territorio, como las implementadas por los diferentes actores campesinos, propietarios independientes no agremiados y sectores de las comunidades indígenas de la región.

Por otra parte, en las figuras 2 y 3 también se observan los porcentajes de las coberturas para el año 2016, donde predomina el BF/GR con 33,4%, seguido por el MCPEN con 29% ubicado en la parte media y baja de la subcuenca. Luego se encuentran los PL con el 19,1%; con menor predominancia se observan el BA con un 8,7%; BD con 8%, mientras el HD cuenta con 1,7%. Para la cobertura de laguna (Embalse) cuenta con el mismo porcentaje de 0,1% debido a que esta no ha sufrido cambios en el tiempo. Estos resultados se relacionan con la implementación de las diferentes prácticas de conservación (restauración pasiva y activa en áreas de regulación hídrica) e implementación de procesos de

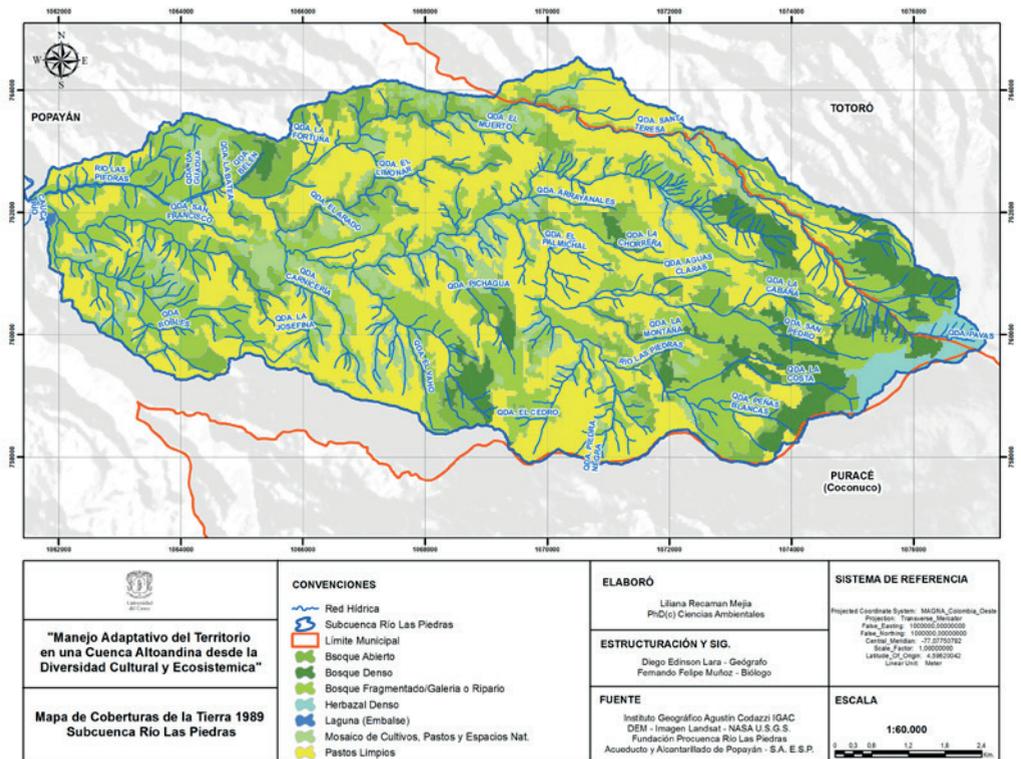
- 1 Red de reservas naturales de la sociedad civil inscritas el 14 de mayo del 2001 por grupos campesinos de Asocampo, integrando 62 reservas entre las subcuencas Piedras y Palacé y dos reservas de propietarios con afiliación al Cabildo Indígena de Quintana.
- 2 El 15 de octubre de 2001, firma del Pacto de Paz y Convivencia, cabildos de Puracé, Quintana, Asocampo y Asoproquintana.
- 3 Formulado entre el 2004 al 2006 de acuerdo al decreto 1729 de 2002.
- 4 Programa Conjunto de Naciones Unidas, proyecto Integración de Ecosistema en el Macizo Colombiano, ejecutado entre 2008 al 2011 definiendo una ruta metodológica de adaptación con tres ejes: comida segura, agua segura, territorio seguro-gestión del riesgo.

- 5 Proyecto del Sistema de Alertas Agroclimáticas Participativas con Custodios de Semillas. Apoyo de La Fundación Procuencia Río Piedras, Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, gobierno nacional a través del IDEAM, Ministerio de Agricultura, GIZ.
- 6 ASAC, Herramienta metodológica con prácticas de Agricultura Sostenible Adaptada al Clima, implementada por CCAFS.

reconversión productiva, comprendidos por sistemas silvopastoriles, rotación de potreros, manejo de fertilización orgánica, asociación de cultivos con manejo de biopreparados y abonos orgánicos, conservación de semillas nativas, integrados a los procesos de planificación de las parcelas familiares. A este proceso se vincularon en un mayor porcentaje las familias campesinas y en la medida en que los problemas de tenencia de tierra lo permitieron, se vincularon grupos de familias indígenas. De esta manera, es posible determinar que el cambio más representativo del año 1989 a 2016 está dado en el MCPEN, con

una ganancia de 21,3%, aunado a ello el cambio de PL con una disminución de 20,4% (Fig. 2 y 3). Estos datos se corroboran con lo planteado por Muñoz-Gómez *et al.* (2018), quienes evidencian la transformación de los ecosistemas de alta montaña, en especial en las cuencas hidrográficas, por cambios del uso del suelo.

De otra parte, es posible identificar en la Tabla 1 las áreas de presión sobre la cobertura de BA, con un área de cambio que pasó de 662,4 ha en 1989 a 573,2 ha en 2016, para una disminución de 89,2 ha en un periodo de 27 años, mientras el BF/GR



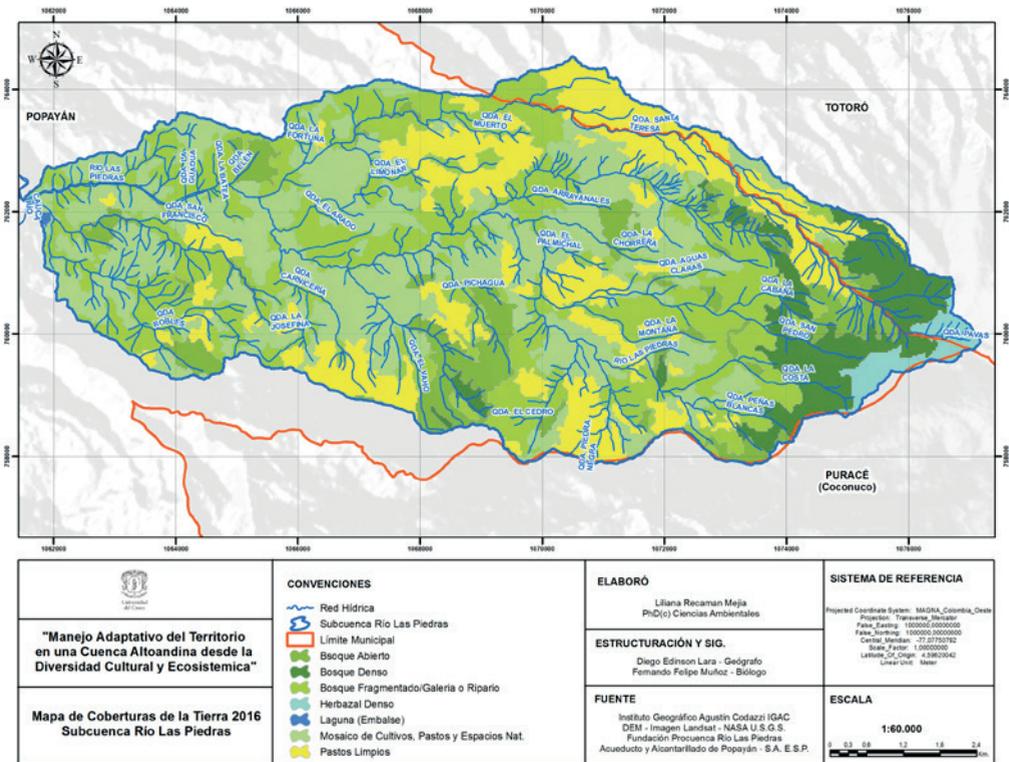


Figura 3. Mapas de coberturas de la tierra 1989–2016 subcuenca río Las Piedras.

pasó de 2182,7 ha en 1989 a 2205,5 ha en 2016 con un aumento de 22,8 ha. Esta situación se presentó en sectores puntuales donde persisten problemas por tenencia de tierra y presiones sobre áreas de protección para el manejo de zonas de pastizales, tala y quema de especies de roble para la obtención de carbón.

En estas zonas los procesos de planificación han tenido baja participación, afectando la sostenibilidad en zonas de conflicto por tenencia de tierras en un periodo superior a 30 años. Por el contrario, se observa el

aumento leve de 4,8 ha en la cobertura de BD entre 1989 y 2016. Igualmente, se evidencia el aumento en la cobertura de HD con 1,4 ha en ganancia. La cobertura de MCPEN tuvo una disminución leve de 1989 a 1999, pero que fue en aumento desde 1999 a 2009 pasando de 507,4 ha a 977,7 ha, con un aumento más significativo de 2009 a 2016 al pasar de 977,7 ha a 1914,6 ha, para un área total de cambio de 1406,1 ha de ganancia durante el periodo de 1989 a 2016. Por su parte, la cobertura de PL tuvo una disminución fuerte de 1345,7 ha durante los 27 años analizados, cambio suscitado por el aumento del MCPEN.

Tabla 1. Dinámica de coberturas en hectáreas (ha.) durante el periodo 1989 – 2016. (-) Disminución; (+) Aumento.

Cobertura	1989	1999	2009	2016	1989 – 2016
BA	662,4	589,2	579,8	573,2	- 89,2
BD	524,3	535,1	572,5	529,1	+ 4,8
BF/GR	2182,7	2073,1	2575,9	2205,5	+ 22,8
HD	110,0	111,4	111,4	111,4	+ 1,4
LAG	3,4	3,4	3,4	3,4	0,0
MCPEN	508,5	507,4	977,7	1914,6	+ 1406,1
PL	2604,7	2776,5	1775,3	1259,0	- 1345,7

De acuerdo a lo expuesto, se explica como la dinámica del cambio de coberturas demuestra que a pesar de que existen zonas donde se mantiene una fuerte presión sobre los ecosistemas evidenciado en la disminución del BA y el aumento del BF/GR, se evidencia la existencia de zonas de recuperación representado en el aumento significativo del MCPEN y un leve aumento en el BD, relacionado con la notable disminución de los PL, que sustentan que a través de los procesos de planificación ambiental las familias potencializan sus sistemas productivos pero sostienen y amplían sus coberturas de protección. Este análisis permite destacar la contribución de las tecnologías geoespaciales durante un periodo determinado, espacializando la recuperación de áreas de bosques frente a coberturas de pastos que ejercen presión sobre los ecosistemas (Balthazar *et al.*, 2015; Tadesse *et al.*, 2017).

En el análisis desarrollado, se suman los fenómenos de variabilidad climática a las dinámicas de transformación y cambio. La subcuenca cuenta con una estación limnimétrica operada por el IDEAM⁷, sus resultados arrojan que el caudal medio histórico entre 1969 y 2016 es de 2,42 m³/seg. Este caudal ha permitido mantener la demanda para la ciudad de Popayán con un aporte al sistema de abastecimiento del 67%. Sin embargo, durante este periodo se han presentado fenómenos de variabilidad climática con 17 fenómenos del niño y 13 de la niña. Durante 2015 el fenómeno del niño tuvo una duración de 19 meses, siendo este el más extenso desde 1969. Esta situación se enfatizó en los procesos de planificación y gestión orientados a prácticas de adaptación y seguimiento a través de la red de monitoreo del clima local, instalando estaciones de

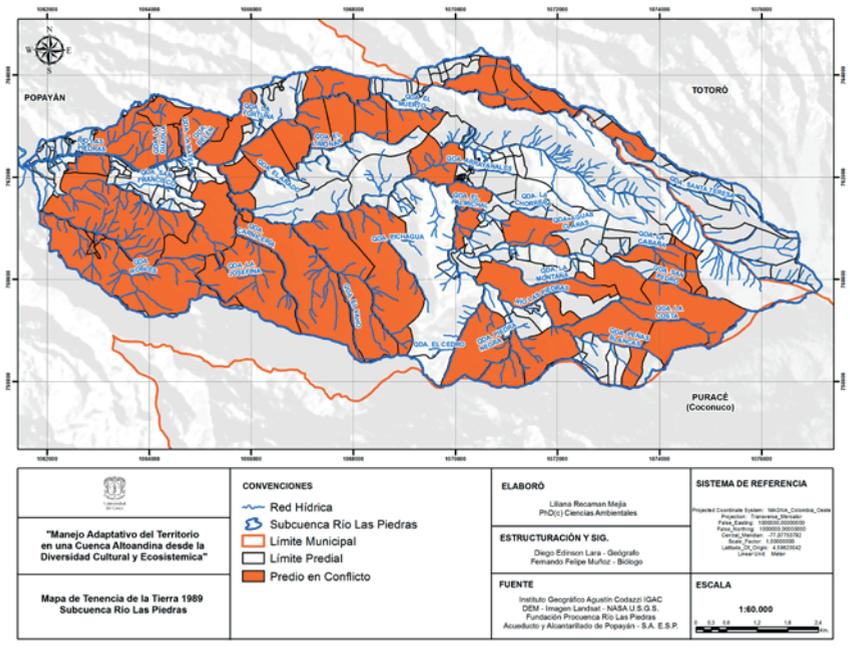
7 Estación limnimétrica puente carretera con código 26017040 con información de caudales desde 1969.

bajo costo operadas por las comunidades e integrando esta información a las mesas agroclimáticas locales para definir pronósticos, recomendaciones para los sistemas productivos y de gestión del riesgo; esta experiencia evidenció el encuentro entre el conocimiento local (endógeno) y el científico para la toma de decisiones ante los efectos de la variabilidad climática y la puesta en marcha de medidas de adaptación con un enfoque del manejo adaptativo del territorio.

Conflicto sobre la tenencia de la tierra, 1989 - 2016

En 1989 el territorio estaba sometido a una fuerte dinámica por conflictos territoriales entre comunidades indígenas, campesinas y propietarios particulares, situación que

aumentó entre 1999 y 2005, sin embargo, las negociaciones entre el gobierno nacional, actores comunitarios indígenas, comunidades campesinas y propietarios particulares, permitieron la disminución de esta problemática el avance en el manejo de la planificación ambiental. La firma del Pacto de Paz y Convivencia, como referente en la negociación y ejemplo de gobernanza en el territorio fue crucial. Entre los años 2007 y 2011 se avanzó significativamente en nuevas soluciones, favoreciendo a las comunidades indígenas y algunas familias de Asoproquintana por la compra de sus tierras. Este proceso de cambio en la resolución de conflictos permitió a su vez mejorar la intervención a nivel interinstitucional y dio paso a nuevas concertaciones para la gestión (Fig. 4 y Tabla 2).



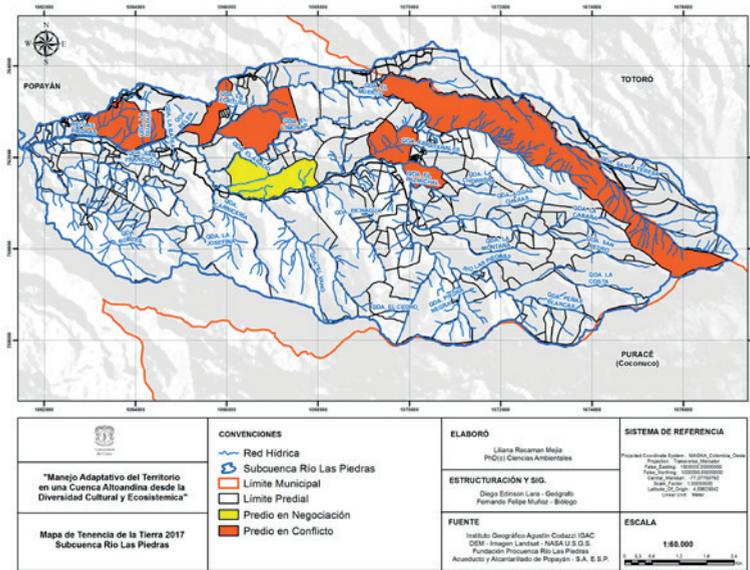


Figura 4. Mapas de predios en conflicto por tenencia de tierras 1989-2016 subcuenca Río las Piedras.

Para 1989 se identificaron 47 predios en conflicto de tenencia con área de 3586,1 ha que representaban el 54,4% del área total de la subcuenca, demostrando la fuerte presión sobre el territorio. En 2016 el conflicto disminuyó significativamente, quedando en 1129,9 ha equivalentes al 17,1%. Actualmente estos predios se encuentran en negociación entre el gobierno y las comunidades

indígenas. Si bien el avance fue importante, preocupa que las alternativas para acceder a tierras son limitadas para las comunidades campesinas, manteniendo latente el conflicto. Es por esto que la dinámica de concertación debe ser permanente, considerando a todos los actores sociales y su influencia en la ecología política y de manejo del territorio (Calderón-Contreras, 2013).

Tabla 2. Conflicto tenencia de tierras 1989 - 2016

Año	Número de predios	Área en conflicto (ha.)	Porcentaje en conflicto (%)	Área sin conflicto (ha.)	Porcentaje sin conflicto (%)
1989	47	3586,1	54,4	3009,9	45,6
2016	6	1129,9	17,1	5466,1	82,9

Prácticas de adaptación

De acuerdo al análisis realizado en los tres hitos históricos señalados desde las categorías vulnerabilidad, ruta de adaptación, servicios ecosistémicos y ambientales y medidas de adaptación, se presentan los resultados relevantes para comprender cómo el enfoque del manejo adaptativo del territorio permite integrar procesos y abordar las dinámicas de cambio y transformaciones en un territorio. La gobernanza es el pilar para la sostenibilidad del territorio y evoluciona en la medida en que los actores participen activamente en la toma de decisiones. El intercambio de conocimientos locales (endógenos) y científicos con otros grupos interdisciplinarios afianza la planificación y gestión del territorio, pasando de un simple proceso de participación a una gobernanza adaptativa, la cual permite reunir a las instituciones formales con las informales para comprender, gestionar y resolver problemas ambientales complejos (Schultz *et al.*, 2015; Gunderson *et al.*, 2016).

En el primer hito histórico, el resultado del estudio de vulnerabilidad adelantado por el Programa Conjunto de Naciones Unidas definió cuatro niveles de vulnerabilidad: alto, medio, bajo y muy bajo. Para las veredas de la subcuenca río Las Piedras, se observó que los niveles muy altos se ubicaron en las veredas de la parte alta como Quintana, Santa Teresa y San Ignacio, pues su posición las hace más vulnerables. Los valores medios se tuvieron en las veredas San

Juan, El Canelo y La Laguna, mientras que las veredas Guacas y San Isidro se consideraron con vulnerabilidad baja. El anterior análisis relacionó cada vereda con la sensibilidad a los ejes de análisis, entre los que sobresalen disponibilidad productiva y diversificación, acceso al agua, calidad del agua y las coberturas de protección, a partir de ellas se definió su capacidad de adaptación.

En este estudio se definió una ruta de adaptación construida de manera participativa con los actores sociales comunitarios e institucionales, denominada “Agua Segura, Comida Segura en un Territorio Saludable”. Esta investigación dio inicio como participante del equipo técnico de ejecución de medidas de adaptación en la subcuenca río Las Piedras, lo que permitió establecer sus objetivos con lineamientos sugeridos por parte del personal de expertos. A continuación, se resaltan las principales medidas priorizadas en la ruta de adaptación:

- 1) Manejo adaptativo del territorio: con el fin de disminuir los niveles de vulnerabilidad de la comunidad y disminuir sensibilidad de los ecosistemas a los impactos del cambio climático.
- 2) Comida segura en un clima cambiante: su principal objetivo fue aumentar la capacidad de respuesta local a los impactos de la variabilidad climática en la seguridad y soberanía alimentaria, a través del fortalecimiento de los sistemas de producción tradicional.

- 3) Agua segura en un territorio saludable: orientada a la disminución de niveles de vulnerabilidad a los impactos de la variabilidad climática, ampliando cobertura de agua para uso productivo y humano y mejorar su calidad para proteger la salud de la comunidad.
- 4) Planificación territorial para reducción del riesgo y construcción de un territorio seguro: aumentar capacidad de respuesta para la reducción de los riesgos por amenazas naturales recurrentes asociadas a impactos de la variabilidad climática.
- 5) Fortalecimiento organizativo: esta medida transversal buscó generar apropiación del conocimiento sobre los riesgos y oportunidades del cambio climático, fortalecer la relación entre las instituciones y la comunidad para la toma de decisiones y el ajuste de políticas e instrumentos de planificación con consideraciones de adaptación (Capera, 2011).

En el segundo hito histórico se profundizó en la importancia de los servicios ecosistémicos y ambientales, los cuales surgen para dar respuesta a la crisis ambiental mundial, mediante la concientización ecológica y los cuestionamientos sobre la existencia de límites asociados a la capacidad de soporte y asimilación de la naturaleza, aspecto que aún no se ha integrado en la mentalidad colectiva que cree en la abundancia de recursos y servicios para el consumo de la población (Balvanera y Avalos, 2007; Pérez *et al.*, 2010). La Evaluación de los Ecosistemas

del Milenio (MEA, 2005) define los servicios ecosistémicos y ambientales como aquellos beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas, es decir, se convierten en servicios en el momento en que las personas inician su aprovechamiento de forma directa o indirecta. Son beneficios directos cuando hacen referencia a los servicios de aprovisionamiento y de regulación, e indirectos cuando se asimilan a la cultura. Este último servicio ha generado una serie de confusiones de carácter conceptual, ya que se veía como servicios necesarios para producir todos los demás. Debido a lo anterior, existe una tendencia creciente a no considerarlo de forma separada y agruparlo con los servicios de regulación y con las propiedades ecosistémicas (Carpenter *et al.*, 2009).

Los servicios ecosistémicos y ambientales que provee la subcuenca Piedras son posibles gracias a la influencia de ecosistemas de alta montaña y entre sus coberturas se cuenta con herbazal denso que forma parte del complejo del páramo de Guanacas. El páramo es un ecosistema que aporta beneficios como la provisión de agua, regulación hídrica, almacenamiento de carbono atmosférico, diversidad de fauna y flora y provisión de carbón vegetal (IDEAM, 2022). Este corredor tiene influencia en los municipios de Silvia, Inzá, Totoró, Popayán y Puracé del departamento del Cauca. Para el municipio de Popayán provee el caudal necesario para el abastecimiento hídrico de la capital caucana y de nueve acueductos veredales. Sin embargo, los conflictos de uso del suelo y de tenencia de tierra, sumados a los fenómenos de variabilidad climática, hacen que estos ecosistemas sean más

vulnerables. En la Tabla 3 se relacionan los servicios ecosistémicos identificados por las comunidades y los grupos interdisciplinarios de las instituciones, mientras que en la Tabla 4 se relacionan los

principales cambios según sus percepciones en el clima. Los cambios con el agua como servicio ecosistémico de aprovisionamiento y regulación en tres momentos: antes, ahora y futuro (Tabla 5).

Tabla 3. Servicios ecosistémicos identificados por las comunidades y los grupos interdisciplinarios para la subcuenca río Las Piedras.

Funciones ecosistémicas	Categoría		Servicios ambientales
Producción de alimentos	Servicios de base o soporte: regulación de nutrientes, producción primaria, provisión de polinizadores para la reproducción de especies, polinización de flora nativa.	Servicios de provisión	Frutas, verduras, raíces, alimento para alimentos.
Provisión de agua			Agua, agua para riego, manutención de la salud humana.
Producción de combustible			Leña, carbón.
Recursos genéticos			Información genética de flora y fauna.
Recursos medicinales			Plantas medicinales, biocidas.
Recursos ornamentales			Plantas y flores con atributos ornamentales.
Regulación de gases atmosféricos		Servicios de regulación	Captación de carbono, protección de radiación UV, calidad de aire.
Formación de suelo			Mantenimiento de calidad del suelo, acumulación de materia orgánica.
Hábitat			Provisión de una diversidad de hábitats para movimiento y reproducción de especies.
Inspiración cultural y artística		Servicios culturales	Variedad de lugares con valor artístico.
Belleza escénica			Variedad de lugares con valor artístico.
Belleza escénica			Oportunidad para relajarse y satisfacción del espíritu a través de los atributos del paisaje.
Recreación	Variedad de paisajes con oportunidad de actividades recreativas, variedad de paisajes con oportunidades para el desarrollo de ecoturismo y la realización de deportes.		
Ciencia y educación	Oportunidad para realizar estudios científicos, educación y sensibilización ambiental		

Tabla 4. Análisis de transformaciones de acuerdo a las percepciones del clima por parte de la comunidad

Clima	Descripción de las transformaciones
Hace 5 años	El clima varió. Largas temporadas de invierno y largas temporadas de verano.
Hace 10 años	La temperatura aumentó, disminuyeron los vientos, se comenzó a sentir la radiación solar con mayor intensidad
Hace 30 años	Se sabía que las épocas de lluvia y de verano duraban cada una 6 meses, había periodos definidos. El clima era frío, el sol no era tan fuerte, caían granizadas de 1m de altura que se derretían en 15 días, el volcán Puracé tenía nieve, los vientos eran tan fuertes que arrancaban los árboles y se hacían remolinos.
Riesgos y amenazas naturales: incendios e inundaciones	Descripción de las transformaciones
Hace 5 años	Por efecto de largas temporadas de invierno se presentan agrietamientos. En verano se incrementan los incendios por acciones humanas (se quemaron 5ha de bosque).
Hace 10 años	Disminuyeron las inundaciones, presencia de incendios.
Hace 30 años	Grandes crecientes de ríos y granizadas, avalanchas frecuentes, se veía correr el agua por los potreros por altas escorrentías, fuertes tempestades que mataban al ganado, avalanchas arrastraban puentes, en verano fuertes vientos desentechaban casas.

De estos servicios identificados se reconoció mayor valor a la provisión de agua y de alimentos, así como la formación de suelo. La regulación de gases se consideró importante para la captación de carbono. En cuanto a los recursos medicinales, se utilizan plantas de la región para tratar enfermedades y dar manejo a los animales cuando se enferman, lo cual está muy ligado al conocimiento heredado de sus abuelos y padres. El hábitat se relacionó con la provisión de una diversidad de hábitats para movimiento y reproducción de especies, importantes para su conservación; a los pobladores les preocupa las malas prácticas como las quemadas que se convierten en incendios.

De acuerdo a su cosmogonía y espiritualidad, las comunidades valoran los ecosistemas porque contribuyen con la inspiración y el desarrollo de prácticas y expresiones culturales, por ejemplo, la tradicional subida de la Virgen durante el mes de agosto al cerro Puzna. Para las comunidades indígenas los ecosistemas de páramo y los cerros son sitios sagrados y forman parte de los escenarios para sus refrescamientos y armonizaciones. En este escenario, las comunidades reconocen la importancia de la ciencia, la educación y el acceso a ella para hacer sensibilización ambiental, con la condición de que sus conocimientos propios no se utilicen con

finés particulares. De igual forma, existe un gran respeto hacia la confidencialidad y permiso de las comunidades para que el desarrollo de cualquier proyecto sea previamente socializado y una vez aceptado, continúe bajo procesos de concertación, recalcándole a las instituciones que ellas también forman parte de los acuerdos alcanzados en el Pacto de Paz y Convivencia.

En este análisis se integran las descripciones de las principales transformaciones del clima, riesgos identificados y su percepción sobre el agua en la región. Respecto al clima se evidencia que ya su planeación para cultivos no es igual y que los meses de verano e invierno han cambiado. Se presentan lluvias más intensas y veranos más prolongados, lo que ha incrementado la necesidad de mejorar sus prácticas de manejo, pues cada vez se ven más afectados por los fenómenos de variabilidad climática. Considerando el agua como un servicio ecosistémico vital, en la Tabla 5 se presenta la percepción de la comunidad, donde es evidente que cada vez son más frecuentes los cambios y la vulnerabilidad frente al abastecimiento futuro.

En un tercer hito histórico se presentan las prácticas de adaptación, las cuales se relacionan con las estrategias de sostenibilidad de los servicios ecosistémicos y ambientales y permiten afianzar el manejo adaptativo del territorio. Los servicios ecosistémicos demandan una visión más holística, utilizando un marco de sistema socioecológico que integre el conocimiento desde múltiples

perspectivas (Bennett y Gosnell, 2015), fortaleciendo los intercambios entre el conocimiento local (endógeno) y científico. Cuando hay una ruptura de estos componentes, los servicios ecosistémicos se ven afectados y son vulnerables, especialmente por cambios en el uso del suelo (Burgos *et al.*, 2015) y su impacto en la regulación del recurso hídrico (Locatelli *et al.*, 2017; Muñoz *et al.*, 2017). En este sentido, el análisis de la información sobre el comportamiento social, el uso del suelo, la demanda y las medidas de gobernanza para su seguimiento, implica que el concepto de servicio ecosistémico tiene un vínculo directo entre la biodiversidad y el bienestar humano (Geijzendorffer *et al.*, 2017).

En esta parte de la investigación, se identificaron nueve prácticas de manejo de uso del suelo que han contribuido a mejorar los servicios ecosistémicos como respuesta a perturbaciones de variabilidad climática, eventos de altas precipitaciones, épocas de bajas precipitaciones, fuertes vientos, granizadas, y estrategias de ordenamiento. Se integraron a este análisis los criterios para su priorización como: características de la parcela, facilidad de replicar y adaptar a las actividades productivas de la parcela, propósitos claros y viables, viabilidad económica, uso de tecnologías apropiadas, comportamiento climático local, parcelas multipropósito, sostenibilidad técnica, articulación del conocimiento tradicional, técnico y científico, contar con recursos de la región, ser aceptado y adoptado por el agricultor.

Tabla 5. El agua como servicio ecosistémico y la visión comunitaria

Agua	Antes	Ahora	Futuro
Épocas de mayor escasez (mes, año)	1970 a 1971: verano 1975: verano, invierno 1998: por el fenómeno del niño en los meses de junio, julio, agosto, septiembre. 2003 – 2007: Hace 10 años había más agua. En tiempo de verano no escaseaba. Hasta los años 1990 el agua se mantenía.	A nivel de región no. A nivel de país si. No hay escasez. 2011-2012: el fuerte verano disminuyó el caudal del recurso.	Es impredecible de 15 a 20 años. En 10 años en las partes altas el agua se profundizará y en las partes bajas se mantendrá con un nivel bajo. A 20 años escaseará si los sectores sociales no toman conciencia del cuidado de los recursos naturales.
Épocas de mayor cantidad de lluvias (mes, año)	1995: abundancia de agua que ocasionaba crecientes. 1997-2000: hubo muchos derrumbes. 2004 – 2005 – 2008: fenómeno de la Niña. 2010: marzo – diciembre	2007, 2008 – 2010: febrero, marzo, abril, mayo. 2013: se han presentado bastantes.	A 10 años si los actores sociales toman conciencia ambiental habrá abundancia. 2025: habrá mayor conciencia ambiental, mayor número de áreas conservadas. 2028: se pueden presentar años en los que haya temporadas más fuertes con más lluvias o días más secos.
Usos (recreativos, extracción, material, producción agrícola, domésticos, etc.)	Se usaba para el ganado, lavaban ropa en el río, no se utilizaba riego por que las siembras se hacían de acuerdo al calendario. En los años 1950 se utilizaba el agua para mover un molino y procesar el trigo. Uso doméstico a través de canal abierto (nacimient – río).	En algunas viviendas hay acueducto (soluciones de agua, agua no tratada) en otras continúa con canal abierto. Riego de potreros, bebederos. En la parte baja del puente del río Piedras la gente de la ciudad viene a bañarse y a cocinar y no estamos de acuerdo con esta actividad. La piscifactoría El Diviso y otras aprovechan el agua para el cultivo de trucha.	Acueductos con aguas tratadas. Canal abierto por tubería, uso controlado. Tanques de almacenamiento. Sistema de cosecha de agua lluvia. Reutilización del agua. Filtros. Saneamiento básico sin contaminar nacimientos y quebradas por vertimiento de aguas negras.
Acceso al agua	Canal abierto.	Cuentan con nueve acueductos veredales y solución de agua para usos múltiples. Tres acueductos cuentan con sistemas de filtración lenta, los otros tienen aguas no tratadas. Otras familias continúan con canal abierto.	La cobertura de agua se extiende a todas las veredas con tratamiento. Se mejoran las soluciones de agua (tubería, mangueras, tanques de almacenamiento).

Las prácticas priorizadas fueron: 1) protección y conservación de fuentes de agua; 2) biopreparados para el control de plagas, enfermedades y disminución de problemas de contaminación; 3) conservación de semillas nativas ; 4) asociación de cultivos; 5) sistemas de alertas tempranas participativas; 6) rotación de terrenos con cercas eléctricas y bebederos ecológicos móviles; 7) planificación de la finca o parcela y optimización del terreno, 8) riego por goteo o microaspersión; 9) optimización de sistemas de captación de agua para abastecimiento de uso múltiple.

Las familias participantes en este estudio consideran que los principales beneficios de las prácticas se han reflejado en una mejor oferta hídrica, excedentes de producción, mejoramiento de la seguridad alimentaria y optimización del manejo y espacio de su parcela. Es por esto que la práctica 1) protección y conservación de fuentes de agua, ha sido fundamental para la sostenibilidad de los procesos de conservación de los servicios ecosistémicos y ha permitido mayor sostenibilidad a los caudales de abastecimiento en la región, tanto en sus acueductos veredales como en soluciones de agua para el desarrollo de sus sistemas productivos, de igual manera para el abastecimiento en la ciudad de Popayán. En cuanto a las barreras, el factor económico influye en el mantenimiento y la implementación de las prácticas, seguida por la dificultad para la obtención de materiales, equipos e infraestructura.

Otra barrera representativa son los efectos de la variabilidad climática sobre los sistemas productivos.

Es de resaltar que la práctica 2) biopreparados para el control de plagas, enfermedades y disminución de problemas de contaminación, genera beneficios para la comunidad, siendo los más importantes la calidad del agua y de los alimentos, el ahorro de dinero y la no utilización de agroquímicos y beneficios en la salud, evitando enfermedades por el uso de químicos. El aprovechamiento de los biopreparados ha permitido mejorar los cultivos asociados y la siembra de semillas nativas y adaptadas para la seguridad alimentaria de las familias. Por otra parte, la práctica que presenta mayor cantidad de barreras para su implementación es la 6) rotación de terrenos con cercas eléctricas y bebederos ecológicos para el manejo del ganado, por los costos de mantenimiento; sin embargo, les ha permitido liberar áreas para la conservación. Cuando esta práctica se implementa, se habilita un sistema para mejorar el uso del agua a través de bebederos ecológicos móviles, evitando el pisoteo del ganado en los nacimientos de agua y zonas riparias. De esta forma, los propietarios de las parcelas acuerdan liberar áreas de conservación o para regeneración natural, mejorando y optimizando el uso del predio. Adicionalmente se incluye en este manejo la siembra de sistemas silvopastoriles y mejoramiento de pastos. Las familias que han implementado esta práctica de reconversión productiva han

mejorado su producción, disminuyendo conflictos de uso del suelo, mitigando la presión y sobrepastoreo y la ampliación de coberturas de pastizales en zonas de protección como nacimientos de agua, humedales y relictos de bosque. Cabe aclarar que estas medidas han formado parte de las estrategias de planificación de las entidades y el apoyo financiero para su implementación ha sido clave. Lo anterior está asociado a los cambios de cobertura en los mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales.

Las prácticas que poseen menor cantidad de barreras corresponden a 5) sistemas de alertas tempranas participativas; 7) planificación de la finca o parcela y optimización del terreno; 9) optimización de sistemas de captación de agua para abastecimiento de uso múltiple, para las cuales los costos de implementación, la variabilidad climática y el desconocimiento son los aspectos limitantes. El sistema de alertas tempranas participativas ha permitido planificar y conocer el clima local, tomar decisiones oportunas y mejorar las acciones de adaptación frente a la gestión del riesgo. Con esta práctica se generaron espacios de análisis entre comunidades e instituciones a través de las mesas agroclimáticas, con el fin de mejorar la prevención ante los fenómenos de variabilidad climática, identificando eventos, pronósticos climáticos y medidas de adaptación. Estos resultados de prácticas de adaptación son un claro ejemplo de lo que representa el fortalecimiento de los

sistemas socioecológicos, respondiendo al cambio, a los nuevos desafíos y a la toma de decisiones (Schultz *et al.*, 2015); de ahí que deben ser integradas a las nuevas propuestas de manejo del territorio, considerando los socioecosistemas y sus servicios, optimizando su gestión (Allen *et al.*, 2011; Bennett y Gosnell, 2015; Pérez-Campuzano *et al.*, 2016; Williams, 2011).

Es importante la evaluación periódica del socioecosistema, ya que en la medida que los procesos de conservación sigan siendo de interés para los actores sociales de un territorio, deben incorporarse a los ejercicios de gobernanza y a componentes de investigación que evidencien indicadores de sostenibilidad, integrándolos a la valoración de los servicios ecosistémicos y ambientales. Los indicadores son herramientas para comunicar la información científica y técnica entre diferentes usuarios y para transformar la información en conocimientos procesable hacia la sostenibilidad (Shafiei *et al.*, 2022). Al respecto, Wright *et al.* (2020) analizan la importancia de la ciencia en la toma de decisiones como una herramienta valiosa para enfrentar los problemas de conservación, ajustada metodológicamente de acuerdo a las particularidades de cada objetivo. Los problemas de conservación son inherentemente complejos, en parte porque las decisiones políticas y de manejo no están restringidas únicamente por los recursos financieros, sino también a otros factores como

intereses de las partes involucradas, incertidumbre del sistema y estructuras de gobernanza complejas (Folke *et al.*, 2003). Así mismo, es necesario integrar el área de las ciencias sociales, para comprender y cuantificar los valores y objetivos de las partes interesadas, y así construir planteamientos teóricos más amplios que expliquen la percepción y comportamiento de los actores que conducen a desafíos de implementación.

Las prácticas implementadas se han replicado en otras fuentes de abastecimiento como Palacé, Molino, Pisojé y sectores de la cuenca Cauca. Asimismo, se ha generado una red de custodios de semillas y un esquema de monitoreo climático a través del sistema de alertas agroclimáticas participativas.

Conclusiones

Esta investigación en la subcuenca río Las Piedras, demuestra que las familias que han conservado sus ecosistemas de regulación responden mejor ante los eventos de variabilidad climática, manteniendo sus sistemas de abastecimiento y registran menos daños en sus sistemas productivos, contrario a algunas familias que no asumen los sistemas de planificación y realizan prácticas inadecuadas en el uso del suelo con afectación a las zonas de coberturas de protección por la tala de árboles para ampliación de pastizales y obtención de carbón, quemas y bajos niveles de producción para su seguridad alimentaria,

siendo más afectadas en períodos de variabilidad climática. Generalmente son actores sociales de bajo compromiso y participación para asumir cambios que buscan beneficios en los proyectos, pero no mantienen los procesos. Las dinámicas sociales del territorio han sido fundamentales para mejorar en muchos aspectos y así se mantienen procesos de gobernanza tan importantes como el Pacto de Paz y Convivencia entre cuatro actores sociales, la red de reservas de la sociedad civil y la red de custodios de semillas asociados al sistema de alertas tempranas participativas, quienes continúan asociando las prácticas de adaptación al desarrollo productivo de la región y a la sostenibilidad de sus servicios ecosistémicos.

De acuerdo a los resultados de manejo en las coberturas del suelo, es posible determinar que el cambio más representativo entre los años 1989 y 2016 se evidencia en el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales MCPEN, asociado a los mecanismos de planificación con las prácticas 1) protección y conservación de fuentes de agua; 4) asociación de cultivos; 6) rotación de terrenos con cercas eléctricas y bebederos ecológicos (móviles) para el manejo del ganado; 7) planificación de la finca o parcela y optimización del terreno y 9) optimización de sistemas de captación de agua para abastecimiento de uso múltiple, logrando una ganancia de 21,3%, sumado al cambio de PL correspondiente a pastos limpios con una disminución de 20,4%. Las áreas de presión sobre la cobertura de Bosque

Abierto BA, con un área de cambio que pasó de 662,4 ha en 1989 a 573,2 ha en 2016, tuvo una disminución de 89,2 ha en un periodo de 27 años, mientras el Bosque Fragmentado/ Galería Ripario BF/GR pasó de 2182,7 ha en 1989 a 2205,5 ha en 2016 con un aumento de 22,8 ha; las pérdidas de coberturas se presentaron en sectores donde persisten problemas por tenencia de tierra y presiones sobre áreas de protección para el manejo de zonas de pastizales, tala y quema de especies de roble para la obtención de carbón y donde las prácticas de planificación no han sido sostenidas.

Es concluyente que en la medida que el conflicto de tenencia de tierra no reciba manejo, la sostenibilidad de las coberturas será cada vez más difícil. Si bien se ha avanzado, como lo demuestran los resultados, durante 2016 el conflicto disminuyó significativamente, quedando en 1129,9 ha. equivalente a un 17,1%. Para el momento de esta investigación, los predios en disputa se encuentran en negociación entre el gobierno y las comunidades indígenas. Si bien es clave el avance, es preocupante cómo para el sector campesino son limitadas las alternativas para acceder a tierras que demandan para sus comunidades, manteniendo latente el conflicto. Es por esto que la dinámica de concertación debe ser permanente y sostenida en el tiempo, considerando sus actores sociales y su influencia en la ecología política y de manejo del territorio.

En cuanto al abordaje de la gestión del riesgo, este ha mejorado gracias a la implementación de prácticas que contribuyen a una mejor organización para la toma oportuna de decisiones frente a fenómenos de variabilidad climática. El sistema de alertas agroclimáticas participativas y su integración con la red de custodios de semillas ha sido clave para el fortalecimiento organizativo de sus actores sociales e institucionales, incidiendo en la gobernanza adaptativa. Actualmente se fortalece esta práctica con la puesta en marcha del proyecto ENANDES desarrollado con el IDEAM y aliados locales como la Fundación Procuena Río Las Piedras, con acompañamiento de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), logrando su implementación en la subcuenca Piedras y en las otras fuentes de abastecimiento de la ciudad de Popayán como Palacé, Molino, Pisojé y sectores de la Subcuenca San Francisco de la Cuenca Cauca.

En la medida en que los sistemas socioecológicos sean abordados de acuerdo a sus particularidades e interacciones con el territorio, se podrá entender y abordar las dinámicas de cambio y transformación, asimismo, mejorar los procesos articulados y concertados entre comunidades e instituciones que contribuirá en los procesos de planificación y gestión, afianzando la gobernanza y la gestión del riesgo a través de la adaptación con un mayor impacto en el manejo de los servicios ecosistémicos y ambientales.

Referencias

Adedeji, O. H., Tope-Ajayi, O. O., y Abegunde, O. L. 2015. Assessing and predicting changes in the status of Gambari forest reserve, Nigeria using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Geographic Information System*, 7(3): 301–318. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/jgis.2015.73024>

Allen, C. R., Fontaine, J. J., Pope, K. L., y Garmestani, A. S. 2011. Adaptive management for a turbulent future. *Journal of Environmental Management*, 92(5):1339–1345. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.019>

Balvanera, P., y Avalos, H. C. 2007. Los servicios ecosistémicos y la toma de decisiones: retos y perspectivas. *Gaceta Ecológica*, 84, 117–122.

Balthazar, V., Vanacker, V., Molina, A., y Lambin, E. F. 2015. Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. *Ecological indicators*, 48: 63–75. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.043>

Bax, V., Francesconi, W. y Quintero, M. 2016. Spatial modeling of deforestation processes in the Central Peruvian Amazon. *Journal for Nature Conservation*, 29: 79–88. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2015.12.002>

Bennett, D.E. y Gosnell, H. 2015. Integrating multiple perspectives on payments for ecosystem services through a social–ecological systems framework. *Ecological Economics*, 116, 2015, p. 172–181. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.04.019>

Burgos, A. 2011. Aplicación del enfoque de Manejo Adaptativo de los Recursos Hídricos (AWRM) a nivel local-comunitario en Núcleos Agrarios de Cuencas Rurales del Trópico Seco en Michoacán. Pp: 323–329. Memorias | II Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 464 pp.

Burgos, A. L., Bocco, G., y Ramírez, J. S. 2015. Dimensiones sociales en el manejo de cuencas. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Fundación Río Arronte. México, D.F. 308 pp.

Calderón-Contreras, R. 2013. Ecología política: hacia un mejor entendimiento de los problemas socioterritoriales. *Economía, Sociedad y Territorio*, 13(42): 561–569. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11126608009>

Capera, L. C. 2011. Metodología para el análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgos asociados en la cuenca alta del río Cauca. Programa de Integración de ecosistemas y adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. IDEAM, Popayán. 100 pp.

Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., Defries, R. S., Díaz, S., S., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Oteng-Yeboah, A., Pereira, H.M. y Perrings, C. 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(5), 1305–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.0808772106>

Centro de recursos Idrisi España (CRIdrisi). 2004. Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (SIGTE) de la Universidad de Girona. Disponible en: <http://www.sigte.udg.edu/idrisi/index.php/centro-de-recursos-idrisi-espana/>

Chaffin, B. C., Garmestani, A. S., Gunderson, L. H., Benson, M. H., Angeler, D. G., Arnold, C. A., Cosens, B., Craig, R. K., Ruhl, J. B. y Allen, C. R. 2016. Transformative environmental governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 41: 399–423. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085817>

Clark Labs. 2012. IDRISI Spotlight: Land Change Modeler. Clark Labs, Clark University, Worcester. 4 pp.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). 1990. Plan de Ordenación y Manejo Cuenca río Las Piedras. 250 pp.

Corporación Autónoma Regional del Cauca, (CRC). 2006. Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del río Las Piedras. 456 pp.

Eastman, J.R. 2012. IDRISI Selva Tutorial. Manual version 17. Idrisi Production, Clark University, Worcester. 354 pp.

Felipe-Lucia, M. R., Martín-López, B., Lavorel, S., Berraquero-Díaz, L., Escalera-Reyes, J. y Comín, F. A. 2015. Ecosystem services flows: why stakeholders' power relationships matter. *PloS one*, 10(7): e0132232. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132232>

Fischer, J., Gardner, T. A., Bennett, E. M., Balvanera, P., Biggs, R., Carpenter, S., Daw, T., Folke, C., Hill, R., Hughes, T.P. y Luthe, T. 2015. Advancing sustainability through mainstreaming a social-ecological systems perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14: 144-149. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.06.002>

Folke, C., Biggs, R., Norström, A., Reyers, B. y Rockström, J. 2016. Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society* 21(3). Disponible en: www.jstor.org/stable/26269981

Folke, C., Colding, J. y Berkes, F. 2003. Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. Pp 352-387. En: Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. (Eds.) *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press, Cambridge. 394 pp.

Geijzendorffer, I. R., Cohen-Shacham, E., Cord, A. F., Cramer, W., Guerra, C., y Martín-López, B. 2017. Ecosystem services in global sustainability policies. *Environmental Science & Policy*, 74: 40-48. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.017>

Guerry, A. D., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G. C., Griffin, R., Ruckelshaus, M., Bateman, I. J., Duraiappah, A., Elmqvist, T., Feldman, M. W., Folke, C., Hoekstra, J., Kareiva, P. M., Keeler, B. L., Li, S., McKenzie, E., Ouyang, Z., Reyers, B., Ricketts, T. H., Rockström, J., Tallis, H. y Vira, B. 2015. Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24): 7348–7355. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1503751112>

Gunderson, L. H. y Holling, C. S. 2002. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems. Island Press, Washington, D.C. 507 pp.

Gunderson, L. H., Cosens, B., y Garmestani, A. S. 2016. Adaptive governance of riverine and wetland ecosystem goods and services. *Journal of Environmental Management*, 183, 353–360. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.024>

Gutiérrez-Hernández, O., Senciales-González, J. M., y García-Fernández, L. V. 2016. Evolución de la superficie forestal en Andalucía (1956–2007). Procesos y factores. *Revista de estudios andaluces*, 33(1): 111–148. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11441/48279>

IDEAM. 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72 pp.

IDEAM. 2022. Protocolo para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero del sector AFOLU en ecosistemas de alta montaña. Colombia. Bogotá. 151 pp.

Karpouzoglou, T., Dewulf, A. y Clark, J. 2016. Advancing adaptive governance of social-ecological systems through theoretical multiplicity. *Environmental Science & Policy*, 57: 1–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.11.011>

Leija-Loredo, E. G., Reyes-Hernández, H., Reyes-Pérez, O., Flores-Flores, J. L., y Sahagún-Sánchez, F. J. 2016. Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 22(1): 125-140. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221481>

Levin, S.A. 2001. Immune systems and ecosystems. *Conservation Ecology*, 5(1). Disponible en: www.jstor.org/stable/26271790

Locatelli, B., Lavorel, S., Sloan, S., Tappeiner, U., y Geneletti, D. 2017. Characteristic trajectories of ecosystem services in mountains. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 15(3): 150-159.

Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., y Liu, Y. 2017. A review of supervised object-based land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130: 277-293. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001>

Millenium Ecosystem Assessment, (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-being. 4 volumes. Island Press, EE.UU. 137 pp.

Muñoz-Gómez, F.A., Galicia-Sarmiento, L., y Pérez, E.H. 2018. Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto andinos de Colombia. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1): 15-25. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/1131/932>

Muñoz, G, F., Pérez, E. y Otero, S, J. 2017. Susceptibilidad a la erosión hídrica de suelos en la zona andina del departamento del Cauca Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 26(1), 45-50. Disponible en: <https://doi.org/10.33975/riuq.vol26n1.130>

NASA Earthdata. 2017. NASA Earthdata Open Access for Open Science. Fecha de acceso: 2017 Mar 13. Disponible en: <https://search.earthdata.nasa.gov/search>

Nates, B. C. 2011. Soportes teóricos y etnográficos sobre conceptos de territorio. *Co-herencia: revista de humanidades*, 8(14): 209-229. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/co-herencia/article/view/283>

Odum, H.T. 2007. Environment, power, and society for the twenty-first century: the hierarchy of energy. Columbia University Press, New York. 418 pp.

Olmedo, M. T. C., Pontius Jr, R. G., Paegelow, M., y Mas, J. F. 2015. Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change. *Environmental Modelling & Software*, 69: 214-221. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.03.003>

Palomeque-De la Cruz, M. Á., Galindo-Alcántara, A., Escalona-Maurice, M. J., Ruiz-Acosta, S. D. C., Sánchez-Martínez, A. J., y Pérez-Sánchez, E. 2017. Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the Grijalva river, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(1): 105-120. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62949072008>

Pérez-Campuzano, E., Ávila-Foucat, V. S., y Perevochtchikova, M. 2016. Environmental policies in the peri-urban area of Mexico City: The perceive defects of three environmental programs. *Cities*, 50: 129-136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.08.013>

Pérez, M., Rojas, J., y Ordóñez, C. 2010. Desarrollo sostenible: Principios, aplicaciones y lineamientos de política para Colombia. Cali (Colombia): Universidad del Valle-Instituto CINARA. 346 pp.

Pinos-Arévalo, N. J. 2016. Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca. Estoa. *Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5(9), 7-19. Disponible en: <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>

Rawat, J. S. y Kummar, M. 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1): 77-84. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>

Recaman-Mejía, L. 2007. Informe de Tenencia de Tierras. Popayán (Colombia). Fundación Pro Cuenca Río Las Piedras. 20 pp.

Recaman-Mejía, L. 2017. Manejo adaptativo del territorio en una cuenca altoandina desde la diversidad cultural y ecosistémica. Tesis doctoral en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Naturales y de la Educación, Departamento de Biología Universidad del Cauca. Popayán. 353 pp.

Schultz, L., Folke, C., Österblom, H., y Olsson, P. 2015. Adaptive governance, ecosystem management, and natural capital. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24): 7369-7374. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1406493112>

Senisterra, G. E., Gaspari, F. J., y Delgado, M. I. 2015. Zonificación de la vulnerabilidad ambiental en una cuenca serrana rural. Argentina. *Revista Estudios Ambientales*, 3(1): 38-58. Disponible en: <http://131.221.1.66/index.php/estudios-ambientales/article/view/38>

Shafiei, M., Rahmani, M., Gharari, S., Davary, K., Abolhassani, L., Teimouri, M. S. y Ghaharifard, M. 2022. Sustainability assessment of water management at river basin level: Concept, methodology and application. *Journal of Environmental Management*, 316, 115201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115201>

Tadesse, L., Suryabagavan, K. V., Sridhar, G., y Legesse, G. 2017. Land use and land cover changes and Soil erosion in Yezat Watershed, North Western Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2): 85-94. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.004>

Uddin, K., Chaudhary, S., Chettri, N., Kotru, R., Murthy, M., Chaudhary, R.P., Ning, W., Shrestha, S.M. y Gautam, S.K. 2015. The changing land cover and fragmenting forest on the Roof of the World: A case study in Nepal's Kailash Sacred Landscape. *Landscape and Urban Planning*, 141: 1-10

Ulloa A. 2011. Concepciones de la naturaleza en la antropología actual. Pp 25-46. En: Montenegro Martínez L. (Ed.) Cultura y Naturaleza. Jardín Botánico de Bogotá, José Celestino Mutis, Bogotá D.C. 467 pp.

Wang, W., Zhang, C., Allen, J. M., Li, W., Boyer, M. A., Segerson, K., y Silander, J. A. 2016. Analysis and Prediction of Land Use Changes Related to Invasive Species and Major Driving Forces in the State of Connecticut. *Land*, 5(3), 25. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land5030025>

Williams, B.K. 2011. Adaptive management of natural resources—framework and issues. *Journal of Environmental Management*, 92(5):1346-1353. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.041>

Wright, A.D., Bernard, R.F., Mosher, B.A., O'Donnell, K.M., Braunagel, T., DiRenzo, G.V., Fleming, J., Shafer, C., Brand, A.B., Zipkin, E.F. y Grant, E.H.C., 2020. Moving from decision to action in conservation science. *Biological Conservation*, 249, p.108698. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108698>

Uso de los SIG en la zonificación ambiental de las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo, del municipio de Popayán-Cauca

Use of sig in the environmental zoning of the clay quarries in the village of Pueblillo, municipality of Popayán-Cauca

Alexander Camayo Sánchez,¹
Julieth Alexandra Chacón Paja²

¹*Programa de Ecología, Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: alexandercamayo@gmail.com*

²*Grupo Unidad de Investigación en Ecología Tropical UNIET,
Programa de Ecología, Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: julieth.chacon@docente.fup.edu.co*

Resumen

La fragmentación de bosques y su potencial pérdida de calidad de hábitat asociada, es una de las principales causas de disminución de la biodiversidad. Una de las estrategias para conocer las condiciones de los hábitats, es la zonificación ambiental. Esta considera el paisaje como una entidad espacio temporal integrada y contribuye a presentar la dinámica de los procesos ecológicos y funcionamiento del mismo. En esta investigación se desarrolló una propuesta de zonificación ambiental para el área de influencia de las minas de arcilla de la vereda Pueblillo-Popayán, empleando herramientas de sistemas de información geográfica en un área seleccionada que cuenta con 110,5 ha. Se obtuvieron ocho mapas finales que evidencian las unidades de paisaje, coberturas de la tierra, uso actual de suelo, aptitud de suelo, conflicto de uso de suelo, posibles corredores ecológicos y finalmente, zonificación ambiental. De acuerdo a la metodología nacional se seleccionaron las siguientes zonas: zona (z) de especial significado ambiental (29,9 ha), z. de recuperación ambiental (29,1 ha), z. de riesgo y amenazas (2,1 ha), z. de producción

Historia del artículo

Fecha de recepción:

02-05-2023

Fecha de aceptación:

05-07-2023

DOI: 10.47374/

novcol.2023.v18.2300

económica (28,9 ha) y z. de importancia social (20,6 ha). Considerando los procesos de fragmentación de las coberturas vegetales y la conectividad ecológica del área de estudio, se establecieron diversos lineamientos para la ordenación y el manejo de esta zona de acuerdo al Decreto 1729 de 2002. De aquí se tuvieron en cuenta los programas de recuperación, de restauración, protección de áreas con fines de conservación, producción sostenible y los programas de educación ambiental. Finalmente, se generó una ficha donde se estableció la prioridad, duración, actividades, indicadores, metas y objetivos que se espera cumplir con el proyecto, al igual que los costos y posibles entes responsables.

Palabras claves: conectividad ecológica, zonificación ambiental, coberturas de la tierra, conservación, Sistema de Información Geográfico SIG.

Abstract:

Forest fragmentation and its associated potential loss of habitat quality is one of the main causes of biodiversity decline. One of the strategies to know the conditions of the habitats is environmental zoning. This considers the landscape as an integrated space-time entity and contributes to presenting the dynamics of ecological processes and their functioning. In this research, an environmental zoning proposal was developed for the area of influence of the clay mines in the village of Pueblillo-Popayán, using geographic information system tools, in a selected area that has 110,5 Ha. Eight final maps were obtained

that show the landscape units, vegetation cover, current land use, soil suitability, land use conflict, possible ecological corridors and finally environmental zoning. According to the national methodology, the following zones were selected: zone (z) of special environmental significance (29,9 ha), z. of environmental recovery (29,1 ha), z. of risk and threats (2,1 ha), z. of economic production (28,9 ha) and z. of social importance (20,6 ha). Considering the processes of fragmentation of the vegetation covers and the ecological connectivity of the study area, various guidelines were established for the organization and management of this area in accordance with Decree 1729 of 2002. This included recovery and restoration programs, protection of areas for conservation purposes, sustainable production, and environmental education programs. Finally, a sheet was created establishing the priority, duration, activities, indicators, goals and objectives expected to be met with the project, as well as the costs and possible responsible entities.

Keywords: ecological connectivity; environmental zoning; vegetable covers; conservation; GIS Geographic Information System

Introducción

El proceso de zonificación ambiental es la herramienta que permite mostrar la dinámica del territorio, determinando las unidades espaciales de uso y ocupación del mismo considerando la realidad biofísica y socioeconómica del lugar, especialmente las ofertas, limitaciones, potencialidades y

fragilidades que ocurren en la estructura y funcionamiento del ecosistema. De igual manera, permite evidenciar conflictos de uso y manejo que orientan la búsqueda de los aprovechamientos que ofrezcan bienestar y calidad de vida para sus habitantes, al mismo tiempo que se conservan los recursos naturales y la biodiversidad (IDEAM, 2010).

La producción ladrillera que se ubica en la vereda Pueblillo al nororiente de la ciudad de Popayán, durante el transcurso de los años ha generado una deforestación masiva de los ecosistemas, a causa de cultivos transitorios y de la minería de arcilla (Astaiza y Llanos 2019). Esto se evidencia en la fragmentación de la zona, la cual hasta el momento no había sido determinada a escala local. La zonificación ambiental de esta área se convierte en un primer acercamiento desde la mirada socio-ambiental a los impactos negativos sobre los ecosistemas allí presentes. Se enfoca en generar conocimiento que permita la toma de decisiones sobre la gestión y conservación de las áreas que proveen los servicios ecosistémicos, proporcionando así soluciones ecológicas. Los resultados obtenidos del análisis de la zonificación ambiental de la minería de arcilla en la vereda Pueblillo, contribuirán también con la toma de decisiones en la ordenación ambiental del territorio.

Consecutivamente y entendiendo la importancia de la zonificación ambiental de esta investigación, se realizó el análisis ecológico de las unidades del paisaje, mediante un sistema de información geográfica - SIG, en las canteras de arcilla

de la vereda Pueblillo, del municipio de Popayán-Cauca. Cabe resaltar que la zona de estudio pertenece a la parte media de la microcuenca del río Molino y forma parte de la estructura ecológica del municipio. Actualmente ofrece y abastece agua potable para el 10% de la ciudad de Popayán, además brinda riquezas paisajísticas, naturales y materiales para construcción de óptima calidad (Alcaldía municipal de Popayán, 2013).

Atendiendo a lo anterior, este estudio pretende zonificar ambientalmente las canteras de arcilla usando herramientas de sistemas de información geográfica SIG en la vereda pueblillo, municipio de Popayán-Cauca.

Materiales y Métodos:

Área de estudio

La investigación se realizó en la vereda Pueblillo, a una altitud de 1780 msnm., en una extensión de aproximadamente 110 ha, al oriente de la ciudad de Popayán, departamento del Cauca (Fig. 1). La parte del asentamiento está catalogado como barrio y pertenece a la Comuna 3 de Popayán, tiene la configuración física de un pueblo, con una calle principal y las casas situadas a los lados; se ubica con relación al meridiano de Greenwich entre 1° y 3° 20' de Latitud Norte y 75° 50' al oeste, está ubicado en la parte media de la subcuenca del río Molino, al margen izquierdo siguiendo el curso de su desembocadura, siendo este uno de los dos principales sistemas hidrográficos que atraviesa de oriente a occidente la ciudad de Popayán (Gonzales, 2015).

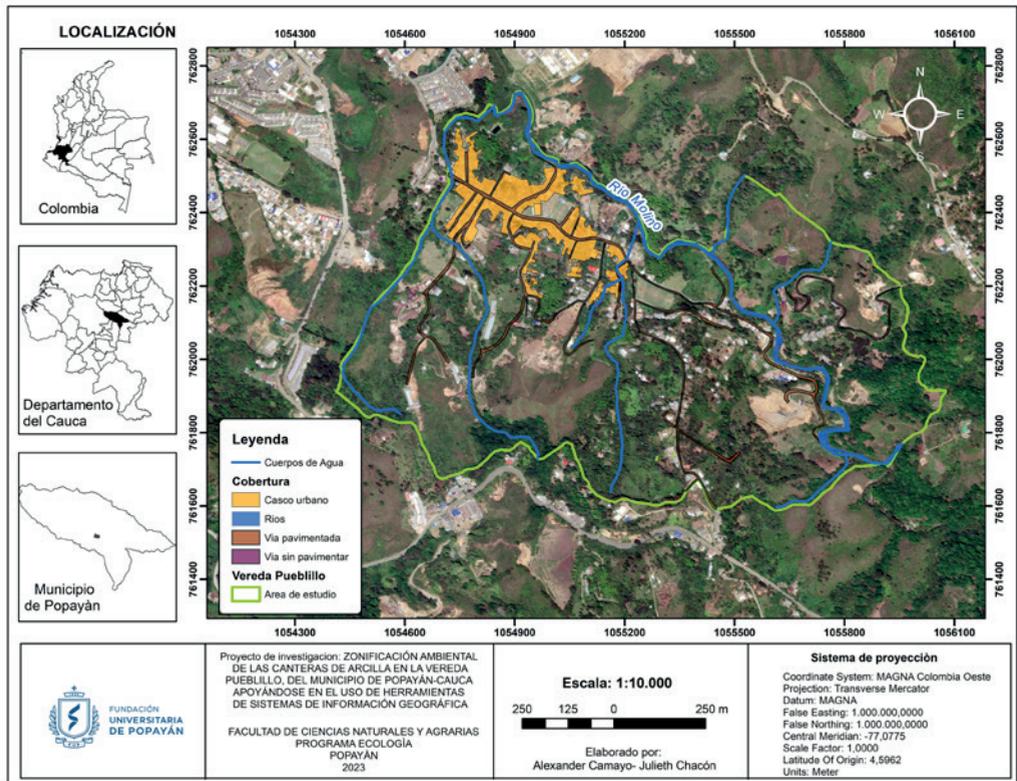


Figura 1. Localización del área de estudio

De acuerdo al Boletín Agroclimático para el departamento del Cauca (2018), Popayán presenta una temperatura promedio de 23 °C, su clima es templado, con humedad relativa de 71% por ubicarse en el Valle de Pubenza, entre las cordilleras Central y Occidental.

Fase 1: Consulta de información secundaria y reconocimiento del área

Se realizaron consultas bibliográficas sobre aspectos ambientales; asimismo se recopilaban imágenes satelitales y de orto

imágenes del área de estudio en el visor SAS.Planet.Release.200606, para hacer la fotointerpretación y posterior elaboración de mapas básicos. Posteriormente, se llevaron a cabo recorridos de campo para hacer reconocimiento de la zona de estudio, asimismo se registraron con GPS Garmin ETrex 30 las coordenadas geográficas y puntos de muestreo claves para la elaboración de la cartografía. Esta información ayudó a la delimitación de las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo e identificación de las unidades de paisaje y coberturas de la tierra existentes.

Fase 2: Obtención de mapas preliminares

Con la ayuda del programa SAS. Planet. Release. 200606 se obtuvo la orto imagen de la zona de estudio del año 2020 con resolución espacial de 2,5 m, seguidamente se registró la información de campo en el software ArcGis versión 10.4.1 y los puntos de muestreo con el GPS. Posteriormente, se procedió a interpretar la imagen preliminar, identificando las zonas recorridas en campo y delimitando el área de estudio teniendo en cuenta las cercas vivas y linderos de los predios del área de estudio.

Haciendo uso del álgebra de mapas por medio de la herramienta Spatyal Analyst, se generaron a escala 1:5000 los siguientes mapas: mapa de la zona de estudio, mapa de la tierra, mapa de uso actual del suelo, mapa aptitud del suelo y mapa de conflicto de uso. Para los mapas de cobertura de la tierra y uso actual del suelo se realizó la clasificación de unidades y coberturas de la tierra teniendo en cuenta la “Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa” a escala 1:5000 (2015) la cual toma como referencia la metodología Corine Land Cover, que consiste en la evaluación de coberturas de la tierra, permitiendo describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de las unidades, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media a alta, para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

Este sistema de clasificación consiste en una nomenclatura de tipo jerárquica, que consta de categorías con información

a nivel regional, las cuales pueden ser agregadas en niveles superiores de las categorías a nivel nacional, lo cual facilita el manejo de información para la ordenación del territorio. A partir de la capa de coberturas de la tierra generada y con apoyo de las observaciones realizadas en el trabajo de campo y diálogos con la comunidad y revisión de antecedentes en el área de estudio como los datos estadísticos de encuestas agropecuarias municipales, se realiza un análisis de los diferentes usos actuales, dando origen al mapa de uso actual. Teniendo en cuenta los usos actuales del suelo y la información suministrada en el estudio general de suelos y zonificación de tierras de Cauca (2009) se generó el mapa de uso potencial. Por último, se realizó el mapa de conflicto de uso del suelo usando la metodología del IGAC y CORPOICA (2002) que permite analizar las relaciones mutuas o la magnitud entre la oferta potencial del suelo y el uso actual del mismo, donde se determinan niveles o categorías del conflicto comparando la capa de uso actual con el uso potencial (aptitud) del suelo, reconociendo tres categorías: adecuado, sub-uso y sobreuso.

Fase 3: Criterios para la zonificación ambiental y análisis de criterios ambientales

Para esta fase se utilizó la metodología descrita por López *et al.* (2012), donde se seleccionaron nueve criterios: representatividad de los ecosistemas, grado de intervención de los ecosistemas, función de los ecosistemas, estado actual de la fauna asociada, riesgos naturales, alteración del

equilibrio hídrico, intensidad de uso, aptitud de uso y conflicto de uso, los cuales fueron evaluados y ponderados asignándole a cada uno un peso de acuerdo con la importancia de este dentro de las Unidades de Paisaje (UP). Los criterios seleccionados se describen a continuación:

Representatividad de los ecosistemas: se refiere a la importancia de cada ecosistema de acuerdo a su extensión por localidad con relación a la extensión total del ecosistema del área de influencia de las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo. En la Tabla 1 se presenta la escala de valores con la cual se define este criterio.

Tabla 1: Escala porcentual para la definición del criterio “Representatividad de los ecosistemas”

Escala	Definición
Alta	Cuando el área del ecosistema en la localidad evaluada representa más del 50 % del total del área del ecosistema.
Media	Cuando el área del ecosistema en la localidad evaluada representa entre el 25% y el 50% del total del área del ecosistema.
Baja	Cuando el área del ecosistema en la localidad evaluada representa menos del 25% del total del área del ecosistema.

Grado de intervención de los ecosistemas: se define de acuerdo al grado de conservación o alteración que presenta cada zona de la localidad, teniendo en cuenta el grado de impacto causado por: (1) presencia de fuentes de contaminación; (2) presencia de residuos sólidos y líquidos; (3) cambios en el uso del suelo. Estos parámetros fueron evaluados de acuerdo con el ámbito de datos y los valores definidos en la Tabla 2. Posteriormente, para obtener el valor del criterio, se realizó la sumatoria de los valores de cada parámetro por cada una de las unidades de muestreo. Teniendo en cuenta la relación entre ese valor resultante y el máximo valor posible, se definió la escala porcentual de valores.

Función de los ecosistemas: se define de acuerdo con la relación a la función que presta el ecosistema en cuanto a hábitat de especies (entendido como sitios de reproducción, crianza y alimentación), paisajística y fuente de recursos para ser aprovechados por el hombre. En la Tabla 3 se presenta la escala de valores con la cual se definió este criterio.

Estado actual de la fauna asociada: evalúa la importancia de las unidades ecológicas del paisaje con respecto a la riqueza de familias de fauna asociada a los ecosistemas presentes. En la Tabla 4 se presenta la escala de valores con la cual se definió el criterio, la información se obtuvo de estudios realizados con anterioridad en la zona.

Tabla 2. Parámetros y escala de valores para determinar el criterio de “Grado de intervención de los ecosistemas”

Parámetro evaluado	Rango de datos	Valor
Presencia de fuentes de contaminación	Baja: cuando no se presentan fuentes de contaminación o sólo se presenta una y es de tipo doméstico asociada a asentamientos humanos dispersos.	1
	Media: cuando hay más de una fuente de contaminación, de tipo doméstico asociadas a áreas urbanas y suburbanas, y de actividades productivas de subsistencia (agricultura de pan coger y turismo).	2
	Alta: hay más de una fuente de contaminación asociada a uso doméstico, industrial y actividades productivas a gran escala.	3
Presencia de residuos sólidos y líquidos	Baja intervención: Cuando se observan evidencias leves de residuos sólidos y líquidos	1
	Media intervención: se observa moderada presencia de residuos sólidos y líquidos.	2
	Alta intervención: alta presencia de residuos sólidos y líquidos.	3
Cambios en el uso del suelo	Poca intervención: no hay evidencias de cambios en el uso del suelo.	1
	Media intervención: hay evidencias de leves cambios en el uso del suelo	2
	Alta intervención: cuando se presentan evidencias de cambios en el uso del suelo.	3
Escala de valores para definir el criterio		
	Baja intervención	< 40 %
	Media intervención	40-70 %
	Alta intervención	> 70 %

Tabla 3. Escala de valores para la definición del criterio “Función de los ecosistemas”

Escala	Definición	Valor
Baja importancia	Los ecosistemas presentes en el área evaluada cumplen con al menos una de las funciones de hábitat, paisajística o fuente de recursos para ser aprovechados	1
Media importancia	Los ecosistemas presentes en el área evaluada cumplen con dos de las funciones de hábitat, paisajística o fuente de recursos para ser aprovechados	2
Alta importancia	Los ecosistemas presentes en el área evaluada cumplen con las funciones de hábitat, paisajística o fuente de recursos para ser aprovechados	3

Tabla 4. Escala de valores para la definición del criterio “Estado actual de la fauna asociada”

Escala	Definición
Bajo	1-3 familias/localidad
Medio	4-7 familias/localidad
Alto	> 8 familias/localidad

Riesgos naturales: en este criterio la importancia de la UP se evalúa de acuerdo con la presencia e intensidad de las amenazas naturales tales como: erosión, inundaciones, vientos, mareas y deslizamientos. En la Tabla 5 se presenta la escala de valores con la cual se define este criterio.

Tabla 5. Escala de valores para la definición del criterio “Riesgos naturales”

Escala	Definición
Bajo	Cuando para la UP no hay presencia de amenazas naturales o se presenta una de baja incidencia.
Medio	Cuando para la UP se presenta una amenaza natural de alta incidencia o dos amenazas de baja incidencia.
Alto	Cuando para la UP hay presencia de más de dos amenazas naturales.

Alteración del equilibrio hídrico: evalúa la importancia de la UP con relación a la alteración de los cursos de agua presentes en el área de influencia. En la Tabla 6 se presenta la escala de valores con la cual se define este criterio.

Tabla 6. Escala de valores para la definición del criterio “Alteración del equilibrio hídrico”.

Escala	Definición
Baja	Cuando para la UP no hay evidencia de alteración del curso de arroyos.
Alta	Cuando para la UP hay evidencia de alteración del curso de los arroyos.

Intensidad de uso: se refiere a la importancia de la UP con relación al grado de aprovechamiento que los usuarios tienen sobre los recursos naturales teniendo en cuenta los siguientes aspectos: 1) accesibilidad por vía; 2) presencia de asentamientos humanos; 3) presencia de actividades productivas; 3) oferta de recursos; 4) nivel de tecnificación en las actividades productivas. Estos parámetros fueron evaluados de acuerdo con el rango de datos y los valores definidos en la Tabla 7. Igualmente, para obtener el valor del criterio, se realizó la sumatoria de los valores de cada parámetro definiendo la escala porcentual de los valores.

Aptitud de uso: como se muestra en la Tabla 8, se evalúa la UP con relación a los tipos de uso que pueda tener determinada área, de acuerdo al tipo de suelo, geomorfología y geología según datos del IGAC (2009).

Conflictos de uso: se entienden como la incompatibilidad presentada por el uso actual respecto a su aptitud y se evalúan las UP de acuerdo con la presencia o ausencia de

dichos conflictos. En la Tabla 9 se presenta la escala que define este criterio.

Fase 4: Zonificación ambiental, análisis de fragmentación y conectividad ecológica

zonificación ambiental

Finalmente se elaboró la zonificación ambiental a partir de la evaluación del área de estudio, teniendo en cuenta la información obtenida de los mapas preliminares; luego se determinaron las zonas definidas en la guía del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “Metodología general para la elaboración de estudios ambientales” (2010). Se evaluó la zona de estudio teniendo en cuenta el análisis integral de los criterios de zonificación los cuales fueron ponderados asignándole a cada uno un peso de acuerdo con la importancia de este dentro de la zonificación. A partir de la combinación de los diferentes criterios se generaron áreas de zonificación ambiental como un atributo más de la base de información ya existente, y así determinar las áreas (Tabla 10).

Análisis de fragmentación y conectividad ecológica

Para el trazado de las rutas de conectividad (corredores) se usó la extensión Corridor Designer del software ArcGIS en su versión 10.4.1. Fue necesaria la obtención de capas de coberturas de la tierra en formato raster y los fragmentos de mayor conservación y estabilidad ecológica en formato vectorial, y así trazar los posibles corredores biológicos identificando las condiciones necesarias

Tabla 7. Parámetros evaluados para determinar el criterio de intensidad de uso

Escala	Rango de datos	Valor
Accesibilidad por vías	Baja accesibilidad: no existen vías de acceso cercanas a las unidades de paisajes.	1
	Media accesibilidad: existen vías de acceso, pero están en mal estado	2
	Alta accesibilidad: se evidencian una o más vías de acceso a la UP y están en buen estado.	3
Presencia de asentamientos	Baja: no existen asentamientos cercanos a la UP o si existen son menores a 50 habitantes.	1
	Media: existen asentamientos cercanos a la UP y están entre 50 y 100 habitantes.	2
	Alta: existen asentamientos cercanos a la UP y estos son mayores a 100 habitantes.	3
Presencia de actividades productivas	Baja: no existen actividades productivas cercanas a la UP.	1
	Media: al menos existe una actividad productiva cercana a la UP y la afecta moderadamente.	2
	Alta: existe una actividad productiva cercana a la UP que la afecta severamente o más de una actividad que la afectan.	3
Oferta de recursos	Baja: no existen recursos que puedan ser aprovechados.	1
	Alta: existen recursos aprovechables.	3
Nivel de tecnificación	Bajo: las actividades productivas realizadas son de subsistencia.	1
	Medio: las actividades productivas realizadas son de pequeña escala y de subsistencia.	2
	Alto: las actividades productivas realizadas son de gran escala	3
Escala de valores para definir el criterio		
	Baja intensidad	< 40%
	Media intensidad	40-60%
	Alta intensidad	>60%

Tabla 8. Aptitud de uso definida para la zona de estudio

Aptitud de uso
Turismo y recreación
Ecoturismo
Expansión y establecimiento de asentamientos humanos
Agropecuaria
Acuícola
Pesquera
Conservación de ecosistemas estratégicos y recursos naturales
Minería

Tabla 9. Escala para la definición del criterio “Conflictos de uso”

Escala	Definición
Sin Conflicto de Uso	Cuando la UP evaluada no presenta conflictos de uso.
Con Conflicto de Uso	Cuando la UP evaluada presentan conflictos de uso.

para la conexión física del paisaje y otra función relacionada con el comportamiento de los organismos en la estructura física.

El análisis de fragmentación se realizó aplicando los índices proporcionados por la extensión Patch Analyst del software

Tabla 10. Áreas para la zonificación ecológica en la zona de influencia de minería de arcilla en la vereda Pueblillo, Popayán, Cauca

Zona	Descripción
Z. de especial significado ambiental	Áreas naturales protegidas, ecosistemas sensibles, rondas, corredores biológicos, presencia de zonas con especies endémicas, amenazadas o en peligro crítico, áreas de importancia para cría, reproducción, alimentación y anidación, zonas de paso de especies migratorias.
Z. de recuperación ambiental	Áreas erosionadas, de conflicto por uso del suelo o contaminadas.
Z. de riesgo y amenazas	Áreas erosionadas, de conflicto por uso del suelo o contaminadas.
Z. de producción económica	Ganaderas, agrícolas, mineras, entre otras.
Z. de importancia social	Asentamientos humanos, de infraestructura física y social, de importancia histórica y cultural.

ArcGis versión 10.4.1, a nivel de parche, clase y paisaje. Los índices seleccionados para dichos análisis fueron los siguientes: número de parches, longitud total de bordes de parches, densidad de bordes de parche, índice de forma, dimensión fractal de parche, área total de zonas nucleares

y tamaño promedio del parche. Una vez calculados los índices se aplicó la unión de tablas con cada cobertura (total y bosque), para especializarlos en el área de estudio (Alarcón, 2017).

El grado de fragmentación se identificó calculando la estimación de la fragmentación total de bosque, a través de la relación entre al área global de bosque y el área total fragmentada (Alarcón, 2017), utilizando la ecuación:

$$F = \text{área de bosque (ha)} / \text{área total (ha)}$$

Los resultados obtenidos se compararon con los valores de referencia para el índice de fragmentación:

Para el trazado de las rutas de conectividad (corredores) fue necesario la obtención de capas de coberturas de la tierra en formato Raster, los fragmentos de mayor conservación y estabilidad ecológica en formato vectorial y la elevación de la zona de estudio teniendo en cuenta que los trazados se realizaron utilizando las rutas con menos dificultad en relación a su pendiente para desplazarse entre parches de bosques.

Tabla 11. Valores para el índice de fragmentación

Rangos F	Grado de fragmentación
F = 1	Sin fragmentación.
F = <1 ≤ 0,7	Fragmentación moderada.
F = 0,7 ≤ 0,5	Altamente fragmentado.
F = < 0,5	Insularizado.

Fase 5: Formular lineamientos de manejo ambiental

El Decreto 1729 de 2002 define los lineamientos para la ordenación y manejo de la zona de estudio que permitieron evaluar los intereses de uso, administración y manejo de los Recursos Naturales Renovables de área de influencia en las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo. Esta normativa menciona varios programas que se tuvieron en cuenta para este estudio, como el Programa de Recuperación, Programa de Restauración, Programa Protección de Áreas con fines de Conservación, Programa Producción Sostenible y Programas Educación Ambiental. Finalmente se generó una ficha, donde se establecen la prioridad, duración, actividades, indicadores, metas y objetivos que se espera cumplir con el proyecto, al igual que los costos y posibles entes responsables. Los lineamientos se consideraron de acuerdo a los procesos de fragmentación de las coberturas vegetales y la conectividad ecológica, del área estudio.

Resultados y discusión

Caracterización de las coberturas de la tierra

El bosque de galería o ripario tiene un área de 15,7 ha (Fig. 2), siendo esta la cobertura de mayor área, debido a que comprende territorios naturales ubicados en las zonas aledañas a los cursos de las quebradas existentes, teniendo en cuenta que estas hacen parte de la subcuenca del Río Molino de Popayán (CRC, 2006).

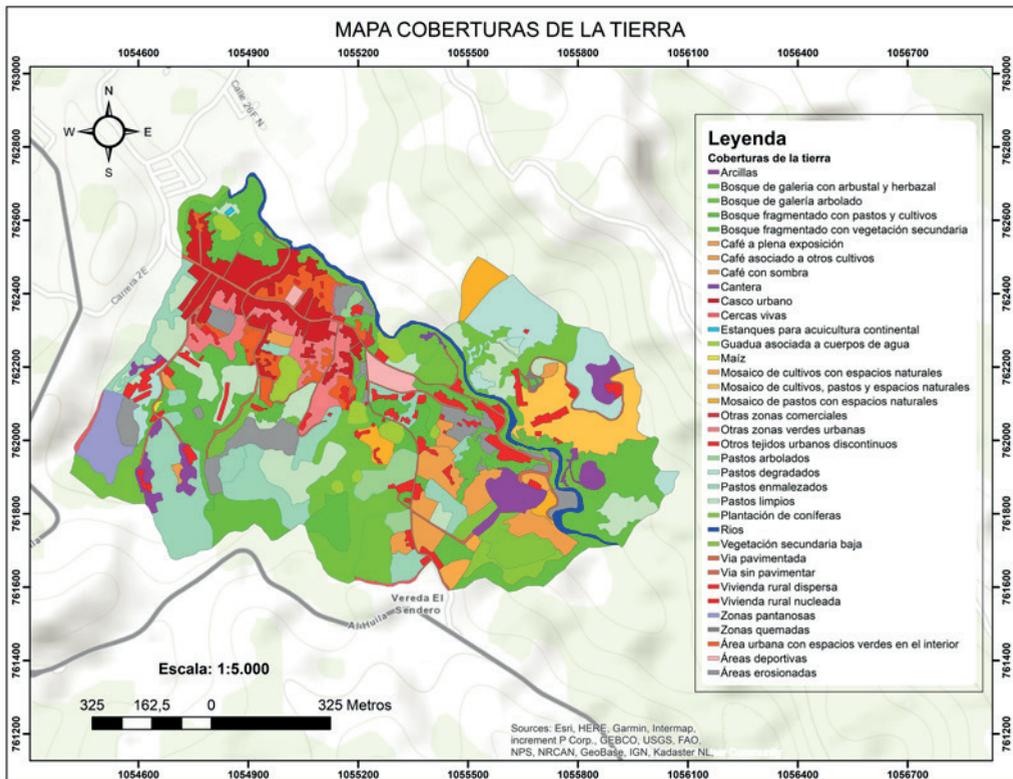


Figura 2. Coberturas de la tierra

El bosque fragmentado con vegetación secundaria comprende un área total de 15,7 ha. Esta cobertura se ha visto afectada por actividades antrópicas sobre el hábitat de las especies que han transformado la estructura del bosque y su composición. Alrededor se encuentran cultivos de café, plátano y ganadería extensiva, principales actividades económicas de la zona. Estos cultivos requieren manejos mecanizados y fertilizaciones con agroquímicos que alteran las características naturales de los ecosistemas.

La cobertura denominada Pastos limpios, tiene un área de 8,8 ha y comprende tierras ocupadas con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%. La existencia de prácticas de manejo (limpieza, enclamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados, impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Por otro lado, la fertilidad se ve afectada por el proceso de escorrentía y pérdida del suelo, generando erosión y deslizamientos en zonas de ladera.

La cobertura vegetal, denominada arbustal, tiene un área total de 7,1 ha. Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollada de forma natural en diferentes densidades y sustratos, que en algún momento fueron utilizados para actividades agrícolas. Estas áreas son de gran importancia, permitiendo la conservación de suelos y recuperación de hábitat, generando nuevos ecosistemas para las especies presentes.

En la subcuenca del río Molino se aprecian especies de flora muy importantes para los ecosistemas y se conservan en una escala de medida equilibrada con respecto a las nuevas especies introducidas (Grande, 2015). En consecuencia, los bosques de galería o ripario tienen mayor área que los demás, lo cual se confirma en los resultados de esta investigación. Por lo anterior, para el periodo comprendido entre los años 2001 y 2014, la actividad de plantaciones forestales maderables aumentó considerablemente, cubriendo casi toda el área de la cuenca del río Molino, utilizando especies forestales introducidas como pino ciprés (*Cupressus lusitánica*), pino pátula (*Pinus patula*) y eucalipto (*Eucalyptus grandis*), cambiando la cobertura de bosque natural fragmentado a bosque plantado. Cabe aclarar que en estas áreas de pastos la ganadería en su mayoría se realizaba de forma artesanal, ocupando grandes extensiones de tierra para pocos animales.

Por último, la cobertura de tejido urbano continuo tiene un área de 5,4 ha. Esta corresponde a edificaciones,

infraestructura y vías construidas en el terreno y cubren más del 80% del área, afectando directamente el paisaje natural y alterando las transformaciones de sus extensiones de tierra y vegetación, lo que modifica negativamente las redes hidrológicas y disminuye las actividades biológicas de los ecosistemas. En conjunto con la contaminación por residuos sólidos, genera la disminución de biodiversidad y depredación de las áreas agrícolas y de conservación. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido.

Uso actual del suelo

Las extensiones más representativas del área son: protección, con 28,8 ha, seguido del área residencial con 13 ha, el pastoreo semi intensivo con 11,8 ha y el sistema de producción protección con 6,91ha, lo cual evidencia que los procesos productivos como pastoreos y expansión del área urbana afectan gravemente la salud de los ecosistemas naturales. De acuerdo con el IGAC (2022), estos suelos sufren principalmente por el uso inadecuado, la compactación, contaminación por plaguicidas y fertilizantes, el mal uso del riego, la eliminación de coberturas vegetales (deforestación) y la erosión, situaciones resultado de actividades agrícolas presentes en el área de investigación. Adicionalmente, todas las actividades antrópicas generan presión sobre los ecosistemas que actualmente están protegidos. En la Figura 3 se identifica todas las unidades de uso del suelo que componen el área de influencia de la vereda Pueblillo de Popayán.

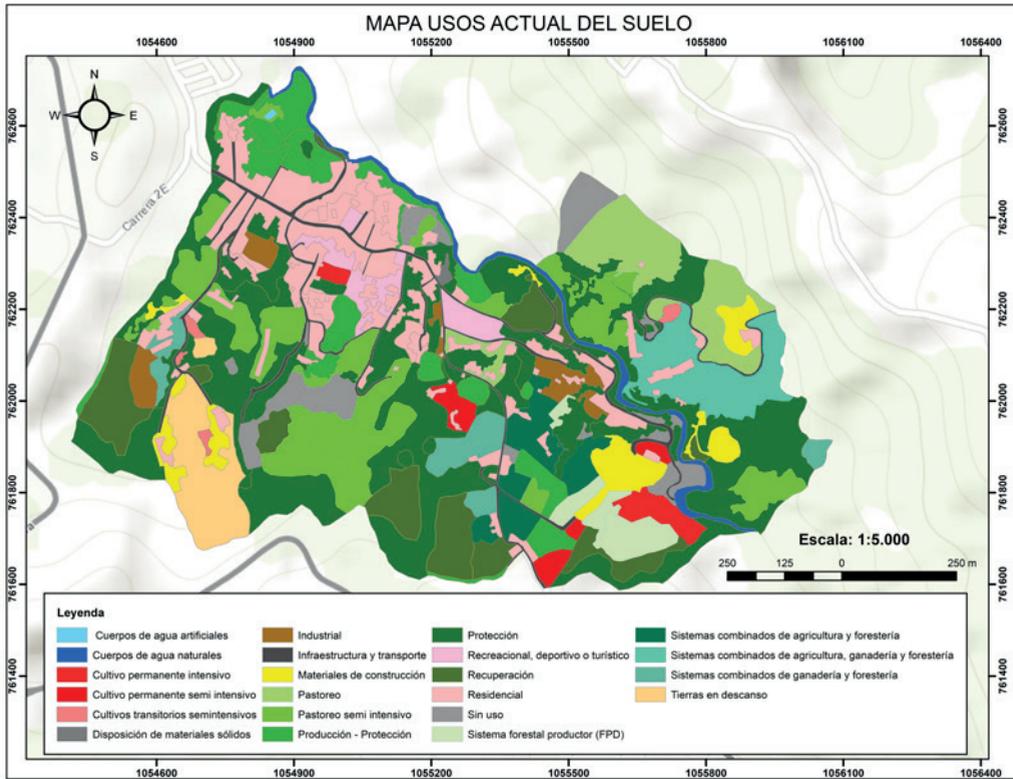


Figura 3. Uso actual del suelo.

Uso potencial del suelo

El terreno se divide en cinco categorías que incluyen las características propias de cada unidad del paisaje (Fig. 3). Aquí se identifica la aptitud agrícola con una extensión de 3,6 ha, conformado por los pequeños terrenos destinados para la producción a baja escala; seguidamente la aptitud para la conservación con 34,2 ha, correspondiente a las zonas naturales y bosque; posteriormente la aptitud para edificación con área de 11 ha, que corresponde a toda la planta física construida; aptitud para tierras de manejo especial 3,6 ha, que no tiene una finalidad

específica, pero que se propone planes de restauración y corredores biológicos, ya que limita con la zona de conservación y bosque.

La mayor parte de las tierras del departamento del Cauca se encuentran localizadas en los paisajes de montaña y lomerío con suelos aptos para el establecimiento de sistemas agroforestales, agrosilvopastoriles y forestales (IGAC, 2009); otras zonas están ubicadas en los paisajes de piedemonte, valle, altiplanicie y planicie, las cuales tienen vocación agropecuaria. En este sentido, el municipio de Popayán, por sus características topográficas y de suelos,

es una zona con vocación forestal (67%), especialmente para áreas de protección – producción (36%) y forestal de protección (17%). Las áreas consideradas con vocación para la producción agrícola representan un 28%, en donde se destacan los cultivos permanentes intensivos como pastoreos, café, plátano y actividades forestales.

Conflicto de uso del suelo

En esta investigación se evidencia que existen 57,2 ha con uso adecuado del terreno, correspondiendo a las zonas de conservación, infraestructura y áreas de

cultivos. El sobreuso presentó un valor de 49,6 ha, situándose en zonas naturales, donde el manejo inadecuado y producción afectan el flujo natural del suelo. Finalmente, el subuso son zonas que deberían ser recuperadas y conservadas con un área total de 3,6 ha. En la Figura 5 se indican los problemas más relevantes del área de influencia de la vereda Pueblillo, Popayán.

El municipio Popayán presenta el 44% de su área en conflicto por sobreutilización, dominando la sobreutilización severa, que corresponde a áreas con vocación para la protección–producción y ocupadas por

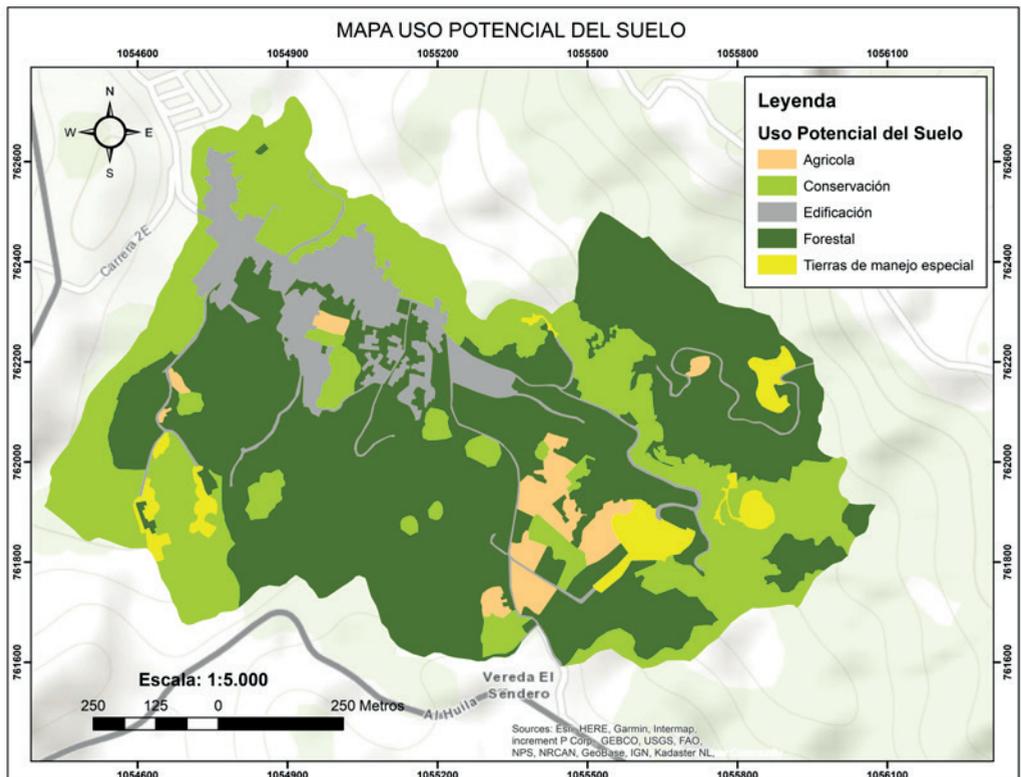


Figura 4. Uso potencial del suelo.

diferentes mosaicos de pastos y cultivos. El 25% del área tiene un uso adecuado o sin conflicto y cerca del 22% de la superficie del municipio presenta conflicto por subutilización, principalmente moderada (Min Agricultura, 2013).

Teniendo en cuenta las características del uso potencial y el uso actual del suelo, se puede concluir que la principal causa de su degradación es el uso inadecuado de la tierra, es decir, no se tiene en cuenta la vocación para planificar su uso real, generando conflicto. Cabe señalar que la región Andina presenta la mayor extensión de tierras con

conflictos de uso por sobreutilización, con 11.977.183 ha, correspondientes al 42,3% del área regional que equivale al 62% del área intervenida (Serrato, 2006).

El Plan de Ordenamiento Territorial – POT de Popayán (2013) establece que el uso del suelo en la zona rural se rige mediante la reglamentación general de la aptitud y uso potencial, distinto a lo que ocurre en el área de influencia de la vereda Pueblillo, cuyos suelos con potencialidades para actividades forestales y de conservación, se han convertidos en zonas de pastoreo, cultivos o áreas urbanas, generando así conflictos de uso del suelo.

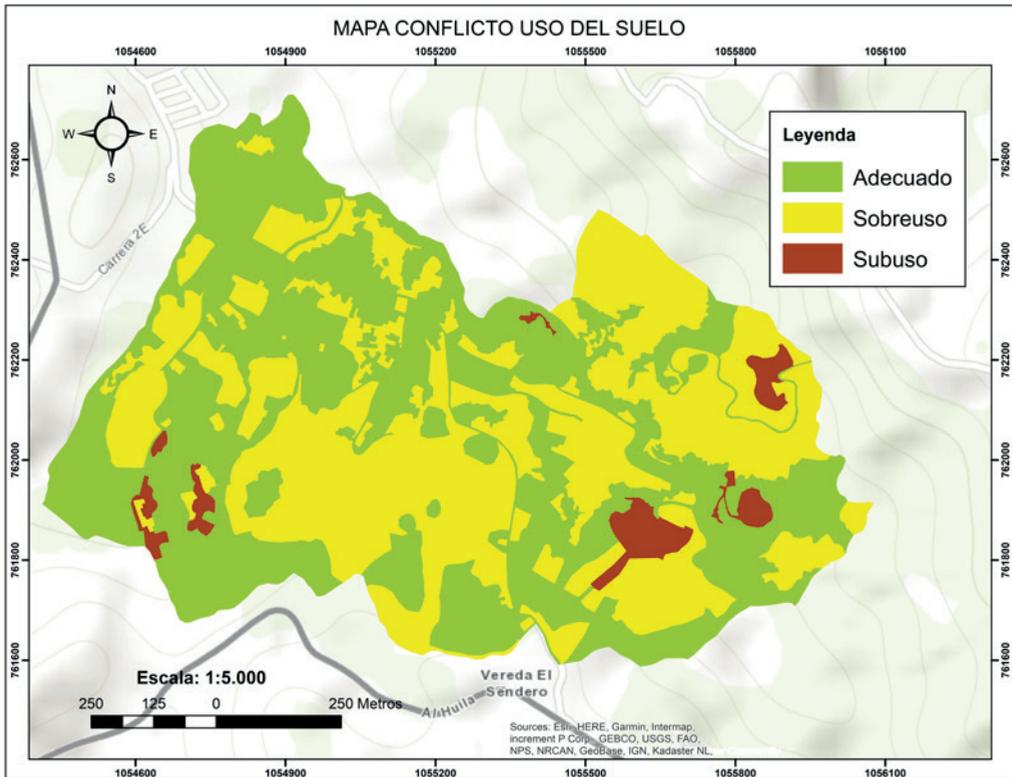


Figura 5. Conflicto de uso del suelo.

Zonificación Ambiental

La zonificación ambiental (Fig. 6) muestra que la clasificación con mayor área es la zona de especial significado ambiental, con un total de 29,9 ha. Cabe destacar que esta zona ambiental tiene atributos ecológicos importantes para la funcionalidad del paisaje, como procesos y sistemas biológicos que sustenten la vida, de ellos depende el desarrollo del ser humano derivado de la diversidad genética que mantiene la fauna y flora del lugar, protegiendo la capacidad productiva de los ecosistemas y asegurando la disponibilidad de recursos como agua, flora y fauna.

En cuanto a la zona de recuperación ambiental, comprende un total de 29,1 ha, y contiene diferentes áreas degradadas por actividades económicas como la extracción de arcilla, extracción de material de arrastre del río Molino y actividades agropecuarias. La zona de producción económica tiene un área de 28,9 ha, si bien es importante para la economía local, impacta negativamente de manera directa principalmente por la extracción de arcillas y actividades agropecuarias. La zona de importancia social tiene un total de 20,6 ha, donde se ubican principalmente los habitantes del área de investigación. Por último, se encuentran las

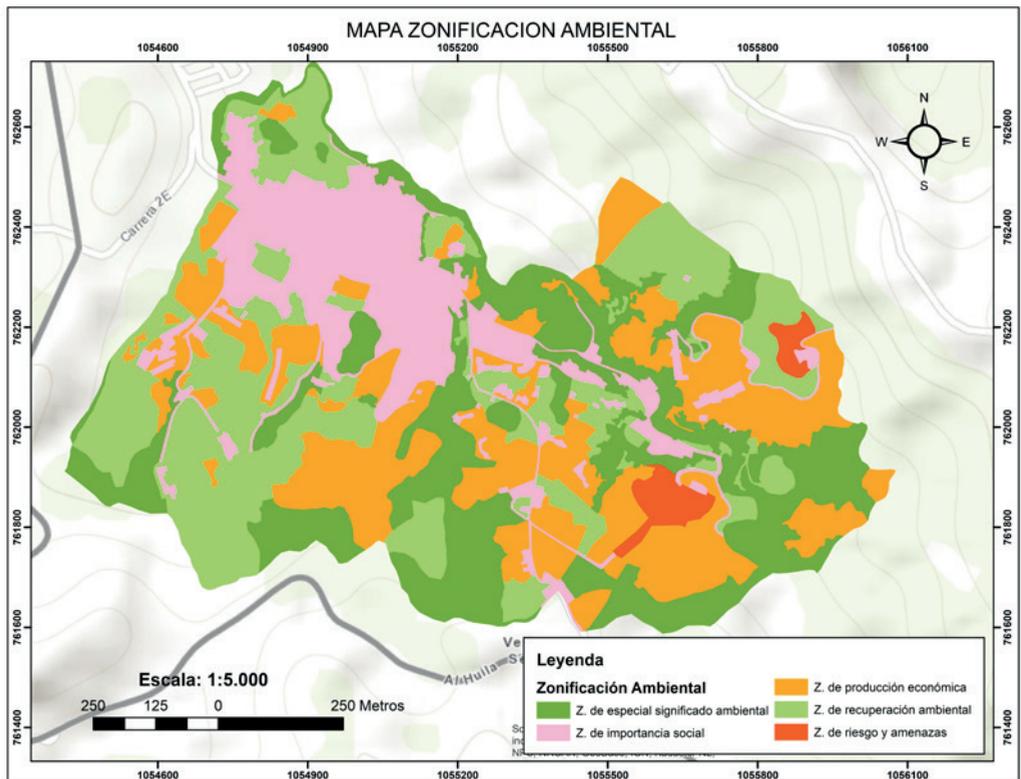


Figura 6. Zonificación ambiental.

zonas de riesgos y amenazas con 2,1 ha, estas, son áreas intervenidas con gran intensidad, generando problemas de remoción en masa.

Si no se tiene una buena planeación y gestión del territorio, todas las zonas identificadas son propensas a escalar en la clasificación, es decir que las zonas de significado ambiental están expuestas a ser áreas de producción económica a causa de la expansión de la frontera agrícola, por consiguiente, tenderán a convertirse en áreas altamente degradadas o zonas de riesgo y amenaza, requiriendo acciones fuertes para mitigar los impactos generados sobre los ecosistemas.

En este escenario, la zonificación propicia la comprensión integral de los atributos que conforman la realidad del paisaje, con el fin de no eliminar ningún área, si no de darle un manejo adecuado que no irrumpa con el desarrollo de cada una (Chacón *et al.*, 2020).

Los parches de bosque fragmentado seleccionados como aptos para el trazado de corredor de conectividad presentan características de ecosistemas de bosque, con presencia de vegetación de tipo ripario o de galería, con distribución espacial heterogénea (Fig. 7). De igual forma, el grado de fragilidad o compactación del fragmento

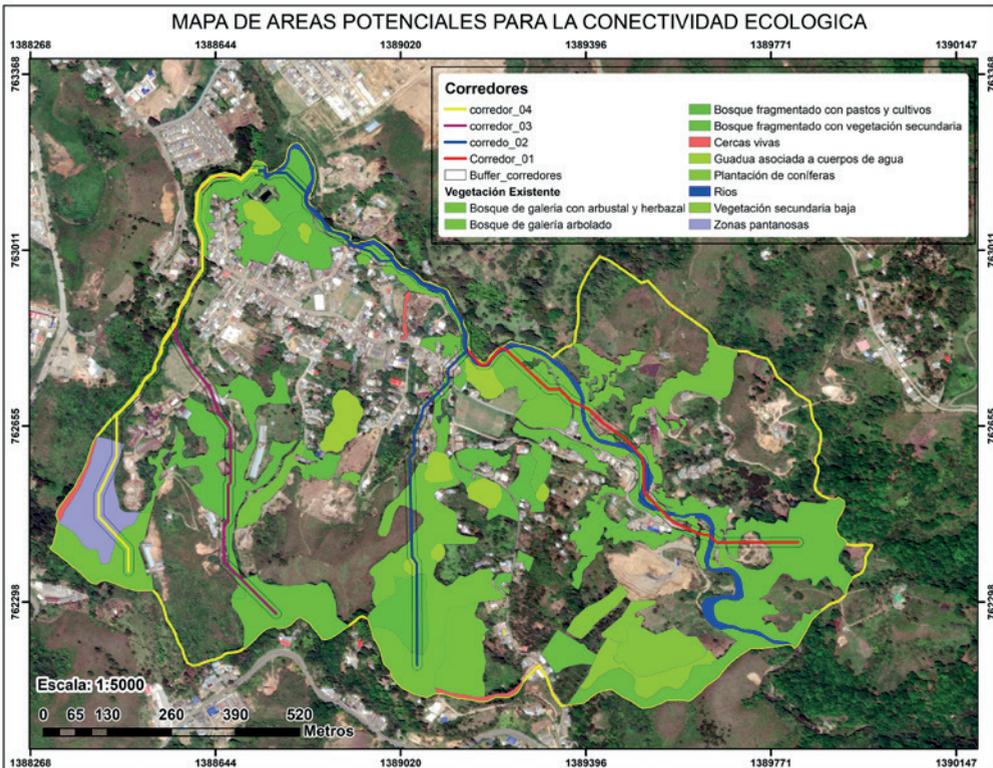


Figura 7. Áreas potenciales para la conectividad ecológica.

muestra que muy pocos parches de bosque ubicados en el área de estudio se encuentran en estado de fragilidad, teniendo en cuenta que los trazados se realizaron utilizando las rutas con menos dificultad en relación a su pendiente para desplazarse entre los parches del bosque. Una de las principales actividades que fomenta la deforestación es la tala rasa, práctica ampliamente utilizada para cultivos o potreros. Esto causa la pérdida de hábitat, afectando la estructura de las comunidades de plantas y animales, alterando la diversidad y favoreciendo la aparición de especies oportunistas (Figueroa y Valencia 2009). La extracción de arcilla de terrenos también tiene efectos sobre

la estructura del suelo, transformando los horizontes, incrementando el material de arrastre hacia los cuerpos de agua, alterando sus características físicas, químicas y biológicas y perturbando a las comunidades de coberturas vegetales.

Estos fragmentos de bosques y áreas potenciales para la conectividad ecológica tienen un área de influencia de 15 metros, en ellos se determinó la existencia de 14,6 ha de conexión para la fauna, pero con alto grado de fragmentación y ecosistemas insularizados, que hacen más difícil la libre circulación de las especies de fauna (Fig. 8). Estos ecosistemas se caracterizan por

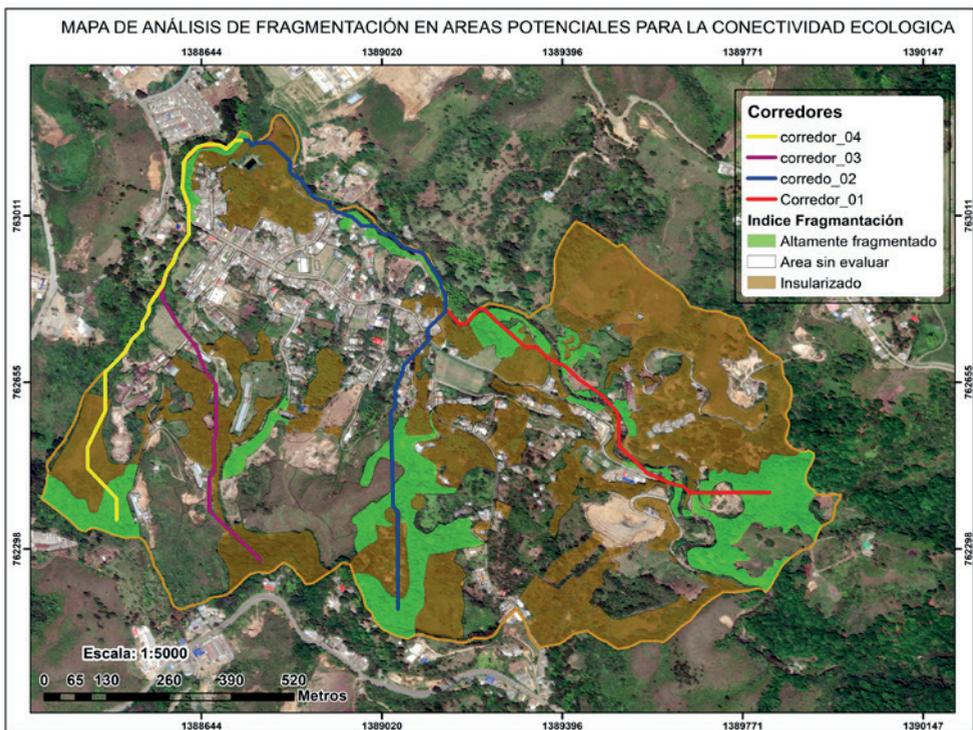


Figura 8. análisis de fragmentación en corredores ecológicos.

concentrar funciones naturales de las cuales dependen de manera especial y significativa bienes y servicios ecológicos vitales para el mantenimiento de la sociedad y de la naturaleza (Márquez y Valenzuela, 2008). Las áreas potenciales para la conectividad ecológica tienen un alto grado de fragmentación, generando problemas en la riqueza de especies naturales pues quedan aisladas, generando parches con baja calidad para el intercambio genético de especies, en consecuencia, las especies pueden llegar a un declive en su población pues al tratar de sobrevivir se sitúan en áreas degradadas o en suelos con vocaciones diferentes, consumiendo la mayoría del recurso (Odum y Barrett, 2006), siendo las áreas o zonas de cantera la causa de la generación de esta fragmentación.

La teoría “fuente-sumidero” propone que, para un mayor éxito en el establecimiento de redes de conectividad, es indispensable realizar procesos de restauración de los ecosistemas del área de influencia, resaltando que un corredor ecológico implica una conectividad entre áreas naturales, con el fin de contrarrestar la

fragmentación de los hábitats ocasionados por actividades antropológicas (Remolina, 2006). Además, pretende unir espacios con paisajes, ecosistemas y hábitats naturales o modificados, que faciliten el mantenimiento de la diversidad biológica y los procesos ecológicos, facilitando la migración y la dispersión de especies de flora y fauna silvestres en el área de influencia de la vereda Pueblillo.

Formulación de lineamientos de manejo ambiental

Para la propuesta resultado de esta investigación, se tomó el Decreto 1729 de 2002, el cual define los lineamientos para la ordenación y manejo de la zona de estudio que permitirá evaluar los intereses de uso, administración y manejo de los Recursos Naturales Renovables del área de influencia (las canteras de arcilla en la vereda Pueblillo); resaltando que este lugar pertenece a la cuenca del río Molino. Como ya se mencionó, de esta normativa se toman algunos programas que se ajustan para mitigar y recuperar la conectividad de los ecosistemas y que se describen a continuación:

Tabla 12. Programa de Recuperación: Protección de Recuperación

Lineamiento de manejo de las áreas fragmentadas en de las áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca)	Ficha N° 1
Programa	Protección de Recuperación
Proyecto	Reubicación de las viviendas y cultivos que se encuentran invadiendo la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.
Tipo de acción	Identificar y delimitar las áreas de manejo especial en la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.
Localización	Ronda de la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.
Beneficiarios	Población asentada y propietarios de predios.
Objetivo: Realizar la reubicación de viviendas y cultivos que invaden la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.	
Alcance:	
Prevenir riesgos potenciales sobre el ecosistema por los asentamientos y cultivos ubicados en la zona de influencia del corredor ecológico.	
Reubicar las viviendas que se encuentran en la zona de influencia del corredor ecológico y así recuperar el espacio para el libre desplazamiento de las especies de fauna que circulan por el corredor.	
Descripción:	
Las casas y cultivos ubicadas cerca de la ronda del corredor ecológico presentan una situación muy compleja, derivada principalmente de la falta de una adecuada planeación urbanística, en este sector del municipio de Popayán. La problemática que se ha generado se ha hecho cada vez más evidente, principalmente por estar ubicados en zonas de alto potencial para el sector agrícola y urbanístico, y en áreas que la Zonificación ambiental, definió como zonas de reserva ambiental del municipio. Además, existe la falta de un correcto equipamiento comunal, que brinde mejores y más adecuados servicios a la población, en cuanto a recreación, servicios complementarios, e infraestructura urbana.	
Estrategias:	
- Reconocimiento del área	
- Informar a la comunidad en general de la reubicación de dichas casas y los cultivos agropecuarios.	
- Realizar la documentación necesaria para el proceso de reubicación.	
Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), Universidades y Centros de Investigación.	

Tabla 13. Programa de Recuperación: Restauración

Lineamiento de manejo de las áreas fragmentadas en áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca)	Ficha N° 2
Programa	Protección de Restauración
Proyecto	Restauración ecológica
Tipo de acción	Delimitar y gestionar la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica para el fortalecimiento de las áreas del manejo.
Localización	Ronda de la zona de influencia de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.
Beneficiarios	Población asentada y propietarios de predios.
<p style="text-align: center;">Objetivo: Reintegrar por medio de la implementación de acciones de restauración ecológica la funcionalidad del corredor ecológico y el ecosistema asociado; conectar el bosque nativo secundario con el existente en la zona.</p>	
<p style="text-align: center;">Alcance: Contribuir a la consolidación de bosques secundarios con especies nativas y generar conectividad entre los relictos de bosque natural secundario presentes. Provisión de hábitat y alimento para la fauna. Contribución a la regulación micro climática del área de intervención. Aumento de la conectividad entre ecosistemas aledaños a la zona y que son de carácter estratégico para la ciudad.</p>	
<p style="text-align: center;">Descripción: Zonas altamente fragmentadas que se encuentran en inmediaciones de la ronda del corredor ecológico, que presentan una situación muy compleja, derivada principalmente de la falta de adecuada planeación en el sector agropecuario, en el municipio de Popayán.</p>	
<p style="text-align: center;">Estrategias: Reconocimiento del área. Trazado y diseño de los módulos de restauración ecológica y enriquecimiento e implementación de los tratamientos recomendados. Propagación y plantación de material vegetal de origen nativa con articulación de la comunidad. Integrar herramientas del manejo del paisaje (HMP). Recuperación del suelo para el establecimiento y permanencia de especies vegetales propias de esta zona. Manejo de las corrientes de agua para facilitar el establecimiento de plantas en algunas zonas afectadas por el cambio en la topografía.</p>	
<p>Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), Universidades y Centros de Investigación.</p>	

Tabla 14. Programa de Restauración

Lineamiento de manejo de las áreas fragmentadas en de las áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca).	Ficha N° 3
Programa	Programa Protección de Áreas con fines de Conservación.
Proyecto	Establecimiento de viveros forestales.
Tipo de acción	Establecer viveros comunales para la producción de plántulas de especies forestales nativas.
Localización	Vereda pueblillo – Popayán.
Beneficiarios	Productores campesinos.
<p>Objetivo:</p> <p>Capacitar a la comunidad sobre el manejo de viveros. Diseñar y construir un vivero comunitario forestal. Identificar las especies y número de plántulas a producir. Proveer de material vegetal de especies nativas para campañas de reforestación. Promover una alternativa de ingresos familiares. Promover acciones conjuntas entre la comunidad y las instituciones en pro del ambiente</p>	
<p>Alcance:</p> <p>- Establecer un vivero forestal para la producción de plántulas para el repoblamiento forestal en la vereda Pueblillo especialmente en las áreas potenciales para la conectividad ecológica.</p>	
<p>Descripción: El establecimiento de viveros comunitarios es una alternativa económica para el pequeño agricultor. Para ello se iniciará con capacitaciones a los agricultores sobre el manejo de viveros, se conformarán grupos de trabajo. Se adquirirá un área mínima de 120 m², en la cual se establecerá el vivero, para la producción de plántulas.</p> <p>Es necesario resaltar que parte de la producción obtenida en el vivero se utilizará para la reforestación de las áreas potenciales para la conectividad ecológica.</p>	
<p>Estrategias:</p> <p>Procesos de gestión comunitaria. Capacitación comunitaria sobre viveros. Educación ambiental. Integrar herramientas del manejo del paisaje (HMP).</p>	
<p>Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación autónoma del Cauca (CRC), Universidades y Centros de Investigación.</p>	

Tabla 15. Programa Protección de Áreas con fines de Conservación

Lineamiento de manejo de áreas fragmentadas en de áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca).		Ficha N.º 4
Programa	Programa Protección Sostenible.	
Proyecto	Realizar plantaciones agro-silvopastoriles y bosques productores en la vereda Pueblillo Popayán.	
Tipo de acción	Mejorar la capacidad productora de los recursos naturales, incorporando el componente forestal en el esquema productivo ganadero y agrícola que actualmente se desarrolla en el área de estudio.	
Localización	Vereda Pueblillo – Popayán.	
Beneficiarios	Productores campesinos.	
Objetivo:		
Mejorar la calidad y disponibilidad de los recursos naturales existentes en la vereda –Pueblillo – Popayán.		
Alcance:		
Implementar un modelo silvopastoril y agroforestal que mejore las condiciones ambientales y productivas de la zona.		
Descripción:		
<p>En la parte silvopastoril de utilizarán especies forestales maderables, forrajeras y frutales, nativas o propias del área, así como especies exóticas para la alimentación del ganado como: <i>Leucaena leucocephala</i>, <i>Morus alba</i> y <i>Cratylia argentea</i>. Estas especies, en asociación a pastos mejorados y bancos de proteínas con gramíneas y leguminosas, son alternativas de producción ganadera productivas, sostenibles y amigables con el ambiente, contribuye a la conectividad ecológica de los relictos de bosques.</p> <p>La parte agroforestal contempla interacciones entre árboles, personas y agricultura, implementando sistemas y tecnologías del uso de la tierra que combinan la producción de cultivos con especies forestales y/o animales, implementando el conocimiento tradicional de la comunidad en agricultura ecológica, para fortalecer y resaltar la funcionalidad de los ecosistemas presentes.</p>		
Estrategias:		
Procesos de gestión comunitaria. Capacitación comunitaria sobre viveros. Educación ambiental. Mejoramiento de pastos y uso de especies arbóreas. Asociación de cercas vivas con bancos de proteínas y pasto mejorado. Procesamiento de abono orgánico. Plantación de material vegetal.		
Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación autónoma del Cauca (CRC), Universidades, secretaria de desarrollo agroambiental y fomento económico y Centros de Investigación.		

Tabla 16 Programa de educación ambiental

Lineamiento de manejo de las áreas fragmentadas en de las áreas potenciales para la conectividad ecológica de Pueblillo (Popayán-Cauca).		Ficha N. 5
Programa	Educación ambiental.	
Proyecto	Formación en el manejo de corredores ecológicos.	
Tipo de acción	Promoción y divulgación.	
Localización	Vereda Pueblillo – Popayán.	
Beneficiarios	Niños y jóvenes, teniendo en cuenta que son los actores más dinámicos, emprendedores y receptivos que impulsarán procesos de cambio real en las actitudes de la población en general.	
<p>Objetivo: Generar y continuar con los procesos de educación ambiental, tanto formales como no formales, en la vereda Pueblillo, que promueva cambios de actitud y propendan por el establecimiento de una relación armónica entre las comunidades y los recursos naturales, dirigidos a la población objetivo.</p>		
<p>Alcance:</p> <ul style="list-style-type: none">- Generar un diálogo de saberes entre los conocimientos académicos y tradicionales sobre procesos de conservación y protección del medio natural.		
<p>Descripción: contará con la articulación entre los establecimientos educativos de la zona y hará énfasis en la promoción y formación de líderes ambientales que, una vez concientizados y apropiados de su función social y ecológica, se encargarán de propagar las experiencias aprendidas, permitiendo que los proyectos ejecutados garanticen la sostenibilidad, articulando la comunidad por medio de Procedas, Praes (Escuelas y colegios) y Praus (Universidades).</p>		
<p>Estrategias:</p> <p>Educación Ambiental</p> <p>Intercambio de conocimientos tradicionales</p>		
<p>Entidades promotoras y fuentes de recursos: Alcaldía municipal de Popayán (POT), Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), Universidades y Centros de Investigación</p>		

Conclusiones

De las coberturas identificadas durante este estudio, la vegetal de bosque de galería o ripario tiene la mayor área, con 15,7 ha, posibilitando interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales en esta área. La fragmentación de los ecosistemas presentes en el área de influencia de las minas de arcillas de la vereda Pueblillo, ha sido causada principalmente por la actividad humana, debido a la minería, la agricultura y la ganadería. A pesar de lo anterior, se evidencia un área mínima de cobertura boscosa sobre el cauce del río Molino y las quebradas allí presentes.

El desarrollo de esta propuesta de zonificación ambiental permitió identificar condiciones para el buen uso y manejo de los recursos naturales y, en general, para todas las actividades desarrolladas en el suelo rural, con el fin de conservar sus potencialidades a largo plazo.

El uso de imágenes satelitales georreferenciadas fue de gran ayuda, disminuyendo tiempos y costos en levantamientos topográficos, obteniendo productos geoespaciales valiosos para realizar la fotointerpretación y generar la cartografía digital presentada en este artículo. Esta herramienta permitirá apoyar la toma de decisiones en la ordenación ambiental de territorio. La determinación de los criterios para la zonificación ambiental y su análisis según su importancia permiten evaluar las unidades de paisaje

para agruparlas de acuerdo a su grado de importancia.

La extracción de arcillas y ampliación de la frontera agrícola en el área de influencia de las minas de arcillas de la vereda Pueblillo ha traído consecuencias en la transformación del paisaje, principalmente en la modificación de la vocación del suelo, esto ha alterado el flujo y desarrollo natural de las especies que habitan el sector, así como la fisonomía, estructura y composición de las coberturas vegetales.

Las áreas potenciales para la conectividad ecológica analizadas, son las más indicadas para reestablecer la conexión ecológica, debido a su paso y proximidad por áreas destinadas a la restauración y conservación, permitiendo interacciones a través de los corredores como base fundamental de la biodiversidad.

Esta investigación permitió evidenciar que es indispensable para los municipios contar con elementos de planificación prácticos y de fácil acceso, como los lineamientos de manejo de suelos rurales. Sin embargo, no es suficiente con su existencia, pues se requiere llevar a la práctica las propuestas, insumo para desarrollar procesos de seguimiento y control.

Agradecimientos

Al Sistema de Investigación, desarrollo e innovación SIDI, al programa de Ecología de la Fundación Universitaria de Popayán y a los habitantes de la comunidad de Pueblillo por haber brindado la posibilidad de realizar este proyecto de Investigación.

Referencias

Alcaldía de Popayán. 2013. Plan de Ordenamiento Territorial-POT del municipio de Popayán. Alcaldía Municipal de Popayán. Fecha de acceso: 2020 Mar 23. Disponible: <https://www.popayan.gov.co/NuestraAlcaldia/MetasObjetivosDesempeo/Plan%20de%20Ordenamiento%20Territorial%20de%20Popay%C3%A1n.pdf>

Alarcón, L. 2017. Análisis de fragmentación y conectividad ecológica entre relictos de cobertura vegetal asociada al área de influencia del Río Cravo sur en el municipio de Yopal - Casanare- Colombia. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13547>

Astaiza, V., y Llanos, D. 2019. Diagnóstico de la actividad ladrillera y caracterización del tipo de arcillas empleadas en la vereda de Pueblillo, Popayán, Cauca, en búsqueda de alternativas de producción para minimizar los impactos ambientales. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.uniautonoma.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/329>

Boletín Agroclimático Departamento del Cauca. 2018. IX Mesa técnica Agroclimática del cauca. Colombia. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Proyecto Suelos. 72 pp .

Corporación Autónoma Regional del Cauca - Fundación Pro cuenca Río Las Piedras. 2006. Plan de Ordenación y Manejo Subcuenca Río Molino – Pubús. Disponible en: https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-MALECONPOPAYAN-C-013-2021/anexo_tecnico_plan_de_ordenacion_y_manejo_de_la_subcuenca_rio_molino.pdf

Chacón, J.A., Bambagüé, C. y Arboleda, O.E. 2020. Uso de herramientas de sistemas de información geográfica para establecer la zonificación ecológica de unidades de paisaje en un sector del municipio de Timbío - Cauca. Revista Novedades Colombianas. 15, 1 (dic. 2020), 47-69. Disponible en: <https://doi.org/10.47374/novcol.2020.v15.1801>

Figuroa, A. y Valencia, M. 2019. Fragmentación y Coberturas Vegetales en Ecosistemas Andinos, Departamento del Cauca. Editorial Universidad del Cauca. Popayán – Cauca, 30pp.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. CORPOICA. Corporación Agropecuaria de Investigación agropecuaria. 2002. Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia. Bogotá – Cundinamarca, 260 pp.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. CORPOICA. Corporación Agropecuaria de Investigación agropecuaria 2002. Zonificación de los Conflictos de uso de las Tierras del país. Bogotá – Cundinamarca, 145 pp.

Grande, J. 2015. Modelamiento morfométrico y análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la subcuenca del río Molino ubicada en el municipio de Popayán, departamento del Cauca, utilizando la metodología Corine Land Cover con Imágenes de sensores remotos. Universidad de Manizales. Facultad de ciencias e ingeniería. Manizales – Caldas. 82 pp.

González, L. 2015. Estudio Hidrológico para las Principales Corrientes del Municipio de Popayán. Capítulo 3. Universidad Del Cauca. Popayán – Cauca, 114pp.

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. Guía para la ordenación y manejo de Cuencas Hidrográficas en Colombia. Segunda versión. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia, 92 pp

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2009. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Cauca. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá. Colombia, 556 pp.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2022. Las 6 “plagas” que causan la muerte de los suelos colombianos. Disponible en: <https://igac.gov.co/es/noticias/las-6-plagas-que-causan-la-muerte-de-los-suelos-colombianos#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Juan%20Antonio%20Nieto%20Escalante,el%20mediano%20plazo%20ocasionan%20la>

López, A., Lozano, P., y Sierra, P. 2012. Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: Estudio de caso zona costera del departamento del Atlántico. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Bol. Invest. Mar. Cost, ISSN 0122-9761.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2013. Sistema de información geográfica municipal 2013. Oferta agropecuaria. Popayán, Cauca. 19 pp.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia. 2010. Metodología general para la presentación de estudios ambientales. Bogotá, D.C., Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 72 p. Disponible en: http://portal.anla.gov.co/documentos/normativa/metodologia_presentacion_ea.pdf

Márquez, C. y Valenzuela, E. 2008. Estructura ecológica y ordenamiento territorial ambiental: aproximación conceptual y metodológica a partir del proceso de ordenación de cuencas. Universidad Nacional de Colombia. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/13989/14780>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. 2002, Decreto 1729 de 2002. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534>

Odum, P. y Varrett, W. 2008. Fundamentos de la ecología. Cengage learning. México. Pp 613.

Plan de Ordenamiento Territorial, POT Popayán. 2013. Alcaldía municipal de Popayán. Fecha de acceso: 2022 Ene 24. Disponible en: <http://www.popayan.gov.co/ciudadanos/la-alcaldia/planeacion-gestion-y-control/plan-de-ordenamiento-territorial-pot>

Remolina, F. 2006. Propuesta de tipología de corredores para la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. 1.

Serrato, P. 2018. Zonificación ecológica como base para el diagnóstico de cuencas hidrográficas Proyecto: Estudio de imágenes satelitales en zonas tropicales para estudios geomorfológicos y de cobertura. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Oficina CIAF. Bogotá. 31pp.

Servicio Geológico Colombiano - SGC. 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano - SGC. 182 pp.

Villegas, E., Cifuentes, A., Contreras, G., y Fernández, D. 2015. Ordenamiento territorial como instrumento para la zonificación ambiental a través de la Estructura Ecológica Principal, como apoyo a la formulación de los POTs y los POMCAS en Colombia. *Revista de Tecnología, Journal of Technology*, 14(2): 49-76. Disponible en: <https://doi.org/10.18270/rt.v14i2.1870>

Valoración económica de los bienes y servicios ambientales del humedal San Antonio de Padua en Popayán

Economic valuation of the environmental goods and services of the San Antonio de Padua wetland in Popayán

Jazmín Penagos Pillimué¹
Carlos Andrés Durán Enríquez²
Julieth Alexandra Chacón Paja³

*¹Ecóloga. Programa de Ecología,
Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: jazminpenagos.97@gmail.com*

*²Biólogo, grupo Unidad de Investigación en Ecología Tropical
UNIET, Programa de Ecología,
Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: carlos.duran@docente.fup.edu.co*

*³Ingeniera Forestal, Grupo Unidad de Investigación en Ecología
Tropical UNIET, Programa de Ecología,
Fundación Universitaria de Popayán.
E-mail: julieth.chacon@docente.fup.edu.co*

Resumen

La valoración económica ambiental establece los beneficios o costos asociados al deterioro o conservación de los Bienes y Servicios Ambientales - BSA. El presente trabajo tiene por objetivo realizar la valoración económica de los BSA provistos por el humedal San Antonio de Padua en el municipio de Popayán. Metodológicamente inició con la aplicación de encuestas a la comunidad para valorar su percepción sobre los BSA, mediante la Valoración Integral de los Servicios Ecosistémicos - VIBSE, luego se hizo la estimación del valor económico de los BSA, mediante la valoración contingente;

Historia del artículo

Fecha de recepción:

02-05-2023

Fecha de aceptación:

08-08-2023

DOI: 10.47374/

novcol.2023.v18.2299

después se identificó el estado, tendencia y factores de cambio en los BSA, teniendo en cuenta los impulsores que inducen dichos cambios. La oferta de BSA que representa mayor preferencia son los servicios de regulación (46%), culturales (29%), y por último servicios de abastecimiento (25%) en las coberturas de tierra: humedal, franja de protección, quebrada y potrero. La valoración económica indica que, respecto a la Disponibilidad a Pagar - DAP en dinero, el 18% de los hogares pagaría entre \$1000 y \$5000 mensuales y 93% realizaría pago en mano de obra; además, el 80% de los encuestados estaría Dispuesto a Aceptar - DAA, entre \$1000 y \$5000 mensuales, mientras que el 20% no aceptaría ninguna compensación. Finalmente, entre los servicios de abastecimiento predominan el estado bajo con tendencia a empeorar, mientras que los servicios culturales se encuentran en estado alto con tendencia a mejorar; asimismo, los servicios de regulación se encuentran en estado alto con tendencia a mejorar, cuyos impulsores de cambio son: explotación intensiva, cambios en el uso del suelo y contaminación.

Palabras clave: Valoración económica, Valoración contingente, bienes y servicios ambientales, humedal, impulsores de cambio, conservación

Abstract

The environmental economic valuation establishes the benefits or costs associated with the deterioration or conservation of

environmental goods and services (ESB). The objective of this work is to carry out the economic valuation of the BSA provided by the San Antonio de Padua wetland. Methodologically, it began with the application of surveys to the community to assess its perception about the BSA, through the comprehensive valuation of ecosystem services, VIBSE, then the estimation of the economic value of the BSA, through the contingent valuation, then the state, trend and factors of change in the BSA were identified, taking into account the drivers that induce these changes. The BSA offer that represents the greatest preference is regulation services 46%, cultural services 29%, and finally supply services 25% in land cover: wetland, protection strip, stream and pasture. The economic assessment indicates that regarding the willingness to pay DAP in money, 18% of households would pay between \$1,000 and \$5,000 per month and 93% would pay in labor; In addition, 80% of those surveyed would be willing to accept (DAA) between \$1,000 and \$5,000 per month, while 20% would not accept any compensation. Finally, supply services predominate in the low state, with a tendency to worsen, while cultural services are in a high state, with a tendency to improve; likewise, regulation services are in a high state with a tendency to improve, whose drivers of change are: intensive exploitation, changes in land use and pollution.

Keywords: Economic valuation, contingent valuation, environmental goods and services, wetland, drivers of change, conservation.

Introducción

Los humedales urbanos son ecosistemas de gran importancia ecológica, como argumenta Cabal, Muñoz y Solar (2015). Su función expresa la oferta de BSA que abastecen y mejoran la calidad hídrica, regulan los ciclos biogeoquímicos, reducen las inundaciones, filtran desechos y mejoran la calidad del aire, entre otros. Los humedales están reglamentados por el Convenio de Ramsar de 1971, el único tratado mundial que se centra en un solo ecosistema, proporciona el marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos (Convención de Ramsar, 2018). Este convenio surge debido al incremento en la desecación y desaparición de grandes extensiones de humedales a nivel mundial y la posible extinción de la biodiversidad que alberga el 64 % de los humedales del mundo que se ha perdido desde principios del siglo XX (Corporación autónoma regional del Cauca, 2018; Convención de Ramsar, 2018).

En el humedal San Antonio de Padua, la comunidad y el Plan de Manejo Ambiental (Idrobo, 2018) registran problemáticas socio – ambientales, debido al deterioro ambiental, producto de su ubicación en un predio privado y de actividades domésticas, esto ha producido reducción y fragmentación del hábitat, pérdida de biodiversidad, cambios en el uso del suelo, crecimiento urbano, manejo inadecuado de residuos sólidos, déficit y contaminación hídrica entre otras afectaciones ambientales

que influyen en el deterioro de la funcionalidad y calidad de los BSA provistos por el humedal. Estos procesos no solo se presentan por tales actividades antrópicas, también existen debilidades en las medidas de seguimiento y control por parte de las entidades encargadas de la conservación de estos ecosistemas, pues durante y después de esta investigación no se registró su participación relevante. Adicionalmente, se evidencia la ausencia de la institucionalidad y debilidad en el seguimiento de los procesos de planificación y ordenamiento del territorio, pues actualmente aplica el Acuerdo 06 de 2002, por el cual se adopta el plan de ordenamiento territorial POT para el municipio de Popayán (2002), el cual no se adapta a la transformación de la zona urbana y rural; en efecto, indica el incumplimiento de criterios necesarios para el mantenimiento del equilibrio de los sistemas ecológicos.

A pesar de lo anterior, es cabe resaltar la participación de la academia, particularmente la Fundación Universitaria de Popayán – FUP, a través de la generación del Plan de Manejo de 2017, agregando contenido de valor a esta propuesta con el desarrollo de trabajos de grado desde diversas áreas como derecho, ecología y trabajo social.

La valoración económica suministró información cualitativa y cuantitativa de los beneficios de los BSA, permitiendo identificar y valorar el aporte local y nacional en el desarrollo de la planificación territorial a través de una aproximación conceptual y metodológica articulada a la Política de

Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), a los lineamientos del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt IAVH y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS (s.f.).

En este sentido, es pertinente emplear las técnicas de valoración propias de la economía ambiental, para conocer los costos sociales del deterioro ambiental ocasionados por las actividades antrópicas al interior y exterior del humedal, puesto que tales actividades modifican la estructura y funcionalidad del mismo (Perni, 2011; Martínez y Martínez, 2011); por ello es necesario tomar medidas de mejora, destacando la importancia del ecosistema para el suministro de servicios ambientales en relación a los beneficios humanos directos e indirectos.

En esta investigación se identificaron los Bienes y Servicios Ambientales - BSA del humedal San Antonio de Padua mediante la Valoración Integral de los Servicios Ecosistémicos - VIBSE, luego se hizo la estimación del valor económico de los BSA, mediante la metodología de valoración contingente. Se aplicaron encuestas a la comunidad aledaña al humedal, para analizar las preferencias individuales en términos de utilidad o satisfacción de los actores sociales (Riera, 1994), respecto a la Disponibilidad A Pagar - DAP y Disponibilidad A Aceptar - DAA, como medida compensatoria por los cambios en las características de los BSA provistos por el humedal; debido a que estos no tienen un precio definido por el mercado,

en esta investigación se simuló para poder asignarles un valor económico.

Es necesario conocer el estado y factores que producen cambios en la funcionalidad del ecosistema para instaurar medidas de manejo e intervención para reducir impactos ambientales (Betancur *et al.*, 2016), asimismo, fomentar estrategias dirigidas a la recuperación y conservación de la biodiversidad, expresadas en el mejoramiento y mantenimiento de condiciones óptimas para el disfrute del humedal en el componente ambiental, económico y social. De esta manera, se genera un insumo para realizar otro tipo de valoraciones de los BSA, como fundamento para facilitar y mejorar la toma de decisiones a través de herramientas de gestión ambiental.

Materiales y métodos

Área de estudio

El humedal “San Antonio de Padua” se ubica en la Comuna 9 al occidente de la ciudad de Popayán, departamento del Cauca, Colombia, a 2° 27' N, y 76° 38' W, su altitud es de 1717 msnm, la temperatura generalmente varía de 14 °C a 25 °C. El predio tiene No.010600010007000 de propiedad privada, cuenta con un área correspondiente de 8,5 ha de las cuales 6 ha son catalogadas como área propia del humedal y los 2,5 restantes son área de protección. Colinda con los barrios María Occidente, San Antonio de Padua,

Urapanes del Río, Las Vegas y Los Naranjos (Idrobo, 2018).

El humedal es de tipo palustre-permanente emergente ubicado en un área de terreno conformada por una planicie amplia y una zona periférica de pendientes altas en los costados Sur y Oriente (Idrobo, 2018) (Fig. 1 y Fig 1.1). El humedal presenta alto nivel freático y una cobertura vegetal conformada por 49 familias (Laminaceae, Solanaceae, Urticaceae Asteraceae, Fabaceae, Myrtaceae, Euphorbaceae, Poaceae, Juncaceae, Zingiberaceae, Cyperaceae, Vervenaceae, Bromeliaceae), entre otras que corresponden a estratos arbóreo, arbustivo, rasante y epifito.

Aspectos biofísicos

a. *Clima*: corresponde a templado – húmedo, el promedio de lluvia total anual es de 2121 mm, presenta condiciones de tipo bimodal, durante el año se presenta una temporada seca muy definida durante los meses de junio, julio y agosto (Idrobo, 2018). En septiembre las lluvias aumentan paulatinamente y en octubre, noviembre y diciembre se registran las mayores precipitaciones del año. Los meses de enero a mayo son de lluvias, aunque no alcanzan la intensidad de los correspondientes al último trimestre del año.

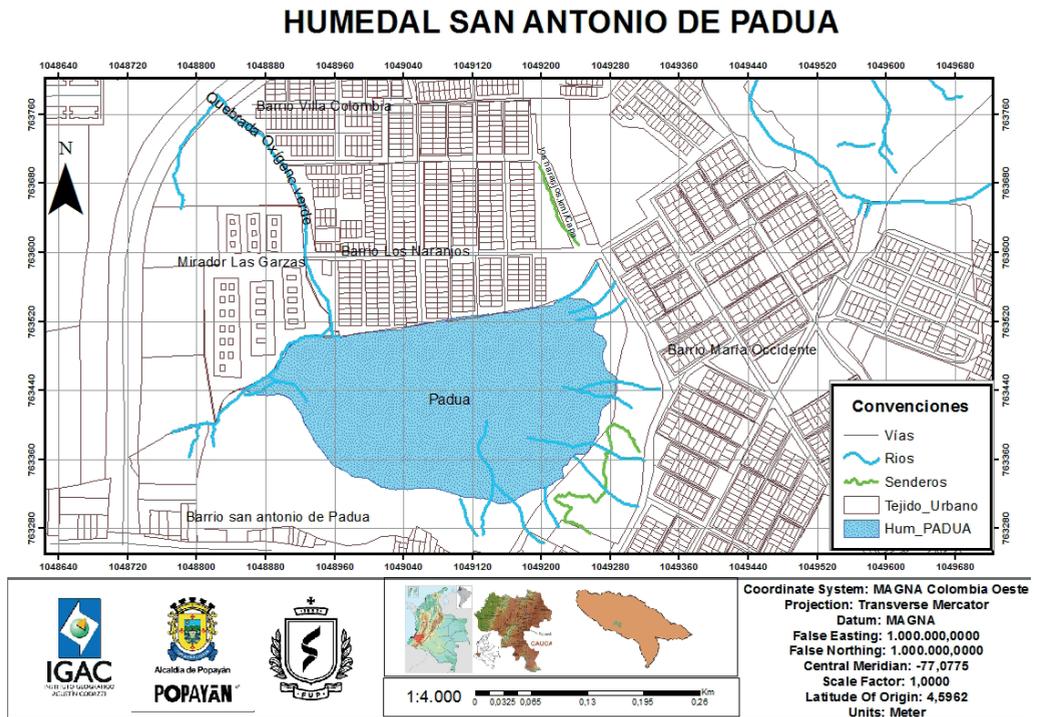


Figura 1. Área de estudio Humedal San Antonio de Padua, Popayán – Cauca (Colombia).



Figura 1.1. Aspectos biofísicos

b. Hidrología: de acuerdo al PMA (Idrobo, 2018), la fuente hídrica que alimenta el humedal es la quebrada Oxígeno Verde, de longitud 315 m. El estudio limnológico indica la presencia de cinco familias de macro invertebrados (Hydrophilidae, Leptoceridae, Tipulidae, belostomatidae, Hydropsychidae), la calidad de agua corresponde a “aguas muy contaminadas” con un puntaje total de 25, valor comparado con los rangos de la escala del BWPM/Col.

c. Geología y geomorfología: según el servicio geológico colombiano – SGC (2017), la zona se clasifica entre las fallas de Rumbo Sinestral, es decir, pasan las fallas geológicas Puente Julumito y Rosas Julumito. Corresponde a la era geológica del cenozoico, final del periodo del plioceno y segunda época (miógeno) del

periodo del neógeno; el terreno también se encuentra sobre (Ng?Qcec)-conjunto El Cadillal, donde se ubican dos unidades eruptivas, conformadas principalmente por ignimbritas. La zona se clasifica como Vls, de forma irregular, longitud predominantemente corta (de 50m a 250m) y ligeramente inclinada con pendientes entre 16° y 30 ° formada por procesos denudativos sobre materiales volcánicos (Idrobo, 2018). Vls: Ladera suave.

Materiales y métodos

Este estudio involucra investigación mixta, definida por Ocampo (2019), como la explicación de los hechos, enfoque cuantitativo, y la comprensión de ellos,

enfoque cualitativo (Fig. 2.). El enfoque cuantitativo se utiliza en el análisis numérico de la información, mediante la aplicación de técnicas estadísticas, su propósito más importante radica en la descripción, explicación y control objetivo de sus causas, fundamentando sus conclusiones sobre el uso riguroso de la cuantificación, tanto de la recolección de sus resultados como de su procesamiento, análisis e interpretación (Sánchez, 2019). El enfoque cualitativo se refiere al procedimiento metodológico que utiliza palabras, textos, discursos, dibujos, gráficos e imágenes, se sustenta en evidencias que se orientan más hacia la descripción profunda del fenómeno con la finalidad de comprenderlo y explicarlo a través de la aplicación de métodos y técnicas derivadas de sus concepciones y fundamentos epistémicos.

Fase I: Revisión de información documental

La investigación inició con revisión bibliográfica de documentos técnicos sobre el humedal disponibles en repositorios y bases de datos como Scielo y EBSCO, implementando palabras clave como bienes y servicios ambientales, valoración económica y factores de cambio (Anexo 1).

Fase II: Construcción y aplicación del instrumento

El diseño de este instrumento responde a la necesidad de un proceso metodológico que suministre información útil para determinar la toma de decisiones, políticas y estrategias de gestión ambiental (Fig. 2.1). De esta manera, se identificó la contribución de los ecosistemas para el

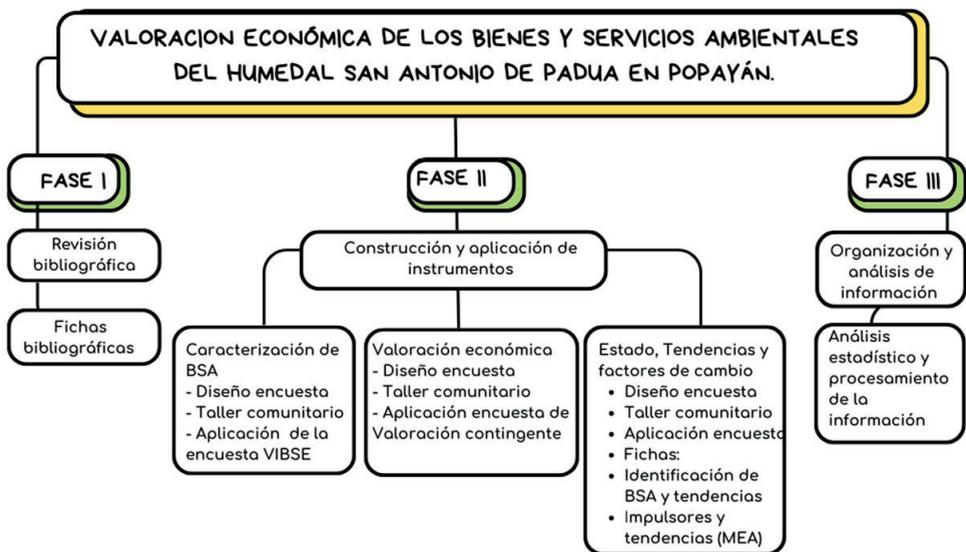


Figura 2. Ruta Metodológica

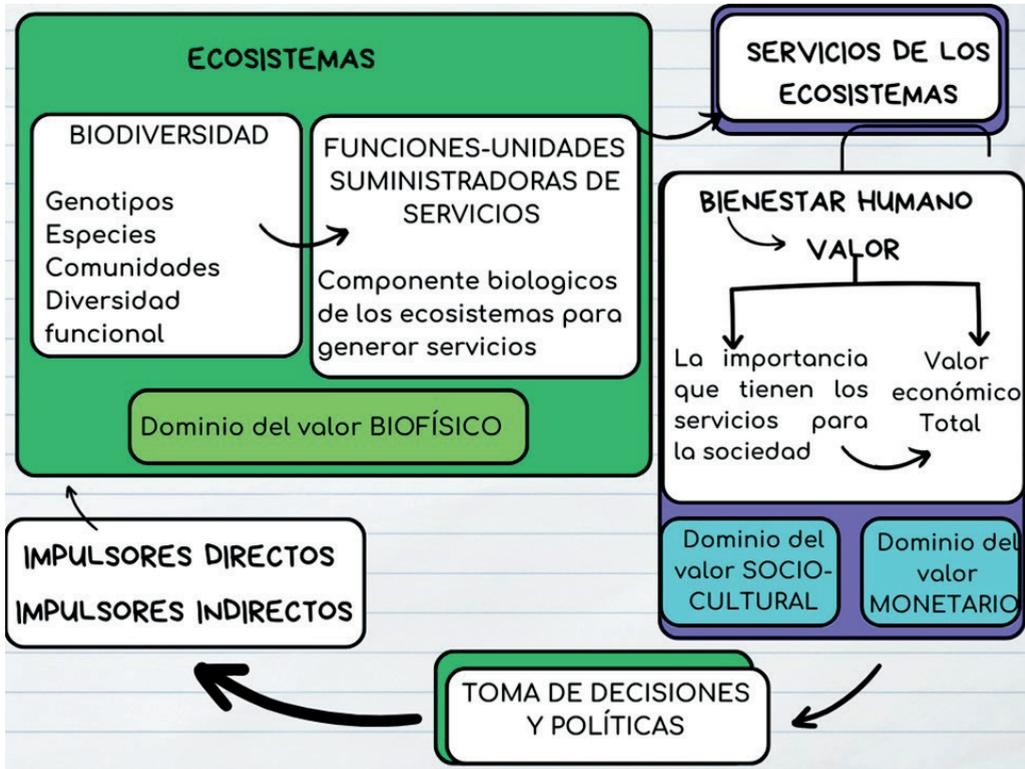


Figura 2.1. Marco conceptual para evaluar servicios de los ecosistemas

suministro de servicios ambientales, así como su uso, demanda, y disfrute por parte de la sociedad, y el dominio del valor monetario (Martin-López *et al.*, 2012).

- Identificación de BSA

Se estructuró una encuesta (Anexo 2) donde se recogió información sociodemográfica como barrio, género, edad, estado civil, nivel de escolaridad, ocupación, número de integrantes por hogar, ingreso familiar mensual y problemas de tipo social/ambiental del sector. Se solicitó identificar los servicios de abastecimiento, culturales

y de regulación que suministra el humedal a la comunidad aledaña, para valorar su percepción respecto a la presencia, ausencia, estado, tendencia y factores de cambio de los BSA (Martínez y Cárdenas 2018).

La encuesta fue respondida por actores clave: líderes sociales comunitarios, comité ambiental y comunidad aledaña al humedal. Antes de su diligenciamiento, se dio a conocer el objetivo y confidencialidad del estudio; asimismo, se presentó un video explicativo y un listado de BSA clasificados mediante la valoración integral de los servicios ecosistémicos VIBSE (2014),

herramienta para la implementación de la Política de Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios ecosistémicos PNGIBSE, desarrollada por el Instituto Humboldt en conjunto con el Ministerio de Ambiente (García-Nieto et al., 2015).

- Muestra

La población inicial fue de 31120 personas, residentes de los barrios: San Antonio de Padua, María Occidente, los Naranjos, Urapanes del Río y Las Vegas. El tamaño de muestra se seleccionó aplicando la fórmula de poblaciones finitas. (Ecuación 1 y 2):

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{e^e * (N - 1) + Z_a^2 * p * q} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$n = \frac{31120 * 1,96_a^2 * 50 * 50}{10^2 * (31120 - 1) + 1,96_a^2 * 50 * 50} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$n = 97$$

- Valoración económica de los BSA

Para valorar los bienes y servicios ambientales sin precios de mercado según (Riera, 1994), la valoración contingente es un método de preferencias declaradas que simula un mercado hipotético propuesto en una encuesta, se trata de una interrogación directa, según Romero y Cárdenas (2017), busca que las personas declaren su máxima disposición a pagar DAP y la mínima disposición a aceptar una compensación DAA, por algún cambio que afecte la cantidad o calidad de un bien o servicio.

Esta valoración se basó en el manual de valoración contingente que propone las siguientes fases: 1) Definir qué se desea Valorar: Bienes y servicios ambientales del humedal San Antonio de Padua (Abastecimiento, culturales y regulación). 2) Definir la población relevante y seleccionar la muestra: Actores clave: líderes sociales-comunitarios, comité ambiental y comunidad aledaña al humedal, 97 individuos residentes de los barrios: San Antonio de Padua, María Occidente, los Naranjos, Urapanes del Río y Las Vegas. 3) Especificar elementos para la simulación del mercado: Se plantea un caso hipotético para valorar la disposición a pagar DAP y la mínima disposición a aceptar una compensación DAA mensualmente, durante dos años para recuperar y conservar los bienes y servicios ambientales del humedal San Antonio de Padua. 4) Definir la modalidad del instrumento (encuesta). 5) Construir el instrumento. Se aplicó la encuesta a partir de un video explicativo sobre los BSA a valorar, la DAP y DAA se valoró en formato precios de rango, con el objetivo de disminuir sesgos; se tomó como opción alternativa el vehículo de pago no monetario (Tiempo invertido en trabajos de recuperación y conservación), finalmente se incluyeron opciones sobre el motivo de no contribuir para identificar respuestas protesta (Anexo 3). 6) Aplicar el instrumento; 7) Analizar estadísticamente los resultados y 8) Presentar e interpretar los resultados.

- Estado, tendencias y factores de cambio de los BSA

Se elaboró un marco conceptual que plasma en dos fichas temáticas la información correspondiente (Tabla 1). La primera ficha recoge la identificación de los BSA del humedal y una evaluación cualitativa de la funcionalidad y tendencia de evolución actual de los mismos. En la segunda ficha se identifican los principales impulsores de cambios en el funcionamiento del humedal y se evalúa el grado de influencia y la tendencia actual de evolución de cada impulsor en relación con tres aspectos específicos: explotación intensiva de recursos, cambios en el uso del suelo y contaminación. La comparación de resultados se hizo mediante la metodología

de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio MEA (2005) implementando el código estilo semáforo (Betancur, et al., (2016).

Fase III: Organización y análisis de información

El procesamiento y análisis de información se realizó con el programa Microsoft Excel 2013; los aspectos sociodemográficos, descripción, valoración económica, estado, tendencia y factores de cambio de los bienes y servicios ambientales se procesó mediante tablas y figuras que permiten conocer la percepción de la comunidad respecto a las categorías de análisis, apoyados en fuentes bibliográficas en torno a la recuperación y conservación del humedal.

Tabla 1. Código Millennium Ecosystem Assessment, MEA.

Estado y tendencia de los bienes y servicios ambientales		Factores e impulsores de cambio directo					
Alto: el servicio actúa a un nivel alto, significa que la condición del servicio es buena	<table border="1"> <tr><th>Tendencia del servicio</th></tr> <tr><td>↑ Mejora del servicio</td></tr> </table>	Tendencia del servicio	↑ Mejora del servicio	El factor perturba a un nivel bajo, lo cual es bueno	<table border="1"> <tr><th>Tendencia del factor</th></tr> <tr><td>↑ Aumenta rápidamente</td></tr> </table>	Tendencia del factor	↑ Aumenta rápidamente
Tendencia del servicio							
↑ Mejora del servicio							
Tendencia del factor							
↑ Aumenta rápidamente							
Medio: el servicio actúa a un nivel medio, significa que la condición del servicio es estable	<table border="1"> <tr><td>↗ Tendencia a mejorar</td></tr> <tr><td>→ Tendencia estable</td></tr> </table>	↗ Tendencia a mejorar	→ Tendencia estable	El factor perturba a un nivel medio, significa que se mantiene estable	<table border="1"> <tr><td>↗ Aumenta</td></tr> <tr><td>→ Estable</td></tr> </table>	↗ Aumenta	→ Estable
↗ Tendencia a mejorar							
→ Tendencia estable							
↗ Aumenta							
→ Estable							
Bajo: el servicio actúa a un nivel bajo, significa que la condición del servicio es mala.	<table border="1"> <tr><td>↘ Tendencia a empeorar</td></tr> <tr><td>↓ Empeora el servicio</td></tr> </table>	↘ Tendencia a empeorar	↓ Empeora el servicio	El factor perturba a un nivel alto, lo cual es malo);	<table border="1"> <tr><td>↘ Disminuye</td></tr> <tr><td>↓ Disminuye rápidamente</td></tr> </table>	↘ Disminuye	↓ Disminuye rápidamente
↘ Tendencia a empeorar							
↓ Empeora el servicio							
↘ Disminuye							
↓ Disminuye rápidamente							
Inexistente		Inexistente					
Desconocido		Desconocido					

Resultados y Discusión

Los resultados de la experiencia se agruparon en tres secciones: 1. Información sociodemográfica, identificación de BSA provistos por el humedal, asociados a las utilidades directas o indirectas percibidas por la comunidad. 2. Valoración económica de estos BSA a través de la estimación de disponibilidad a pagar DAP (valoración contingente) y disponibilidad a aceptar DAA de las personas. 3. Estado, tendencias e impulsores de cambio asociados a los BSA mediante las fichas de reconocimiento por parte de comunidad e información secundaria.

Información sociodemográfica de la comunidad

En cuanto a la variable género, la investigación indica mayor participación de mujeres 57% y en menor proporción hombres 43% (Fig. 3); los intervalos de edad, muestran mayor participación de personas entre 40 y 59 años, seguido de los intervalos 28-39 y 15-17 años, seguidos por la baja cantidad de personas en edades inferiores a 14 años y superiores a 60 años (Fig. 4). Esta alta participación de personas entre 40 y 59 años representa la respuesta significativa de quienes asumen mayor responsabilidad y educación como individuo ante la sociedad (Mazzoni y Gaffuri, 2009). En cuanto al estado civil la mayoría son solteros 44%, casado 33%, unión libre 13%, un porcentaje relativamente bajo señala ser viudo 1% o divorciado 6% (Fig. 5).

En cuanto al nivel de escolaridad de los encuestados, la mayoría tiene estudios de secundaria (54%), seguido por aquellos con educación primaria (14%) y pregrado (25%), sólo el 5% tienen posgrado y no hay personas sin estudios, ni preescolar (Fig. 6). Las personas se ocupan de la siguiente manera: empleado 40%, estudiantes 15% independiente 24%, el 12% de la comunidad representa amas de casa, 5% desempleado y solo 1% es pensionado (Fig. 7). El estrato dos predomina entre los hogares encuestado (84%), seguido de uno 8,9% y tres 6,7%. La cantidad estimada de integrantes por familia oscila entre 3 y 4 personas 55%, seguido de 4 a 5 personas 17%, 1 o 2 personas 12%, y un 12% son hogares con más de 5 personas (Fig. 8). Entre estas familias participantes el ingreso salarial se ubica en menos del salario mínimo legal vigente SMLV en 75,6% hogares y 24,4% hogares declaran 1 SMLV, entre las personas encuestadas no se registran ingresos superiores a los 2 SMLV.

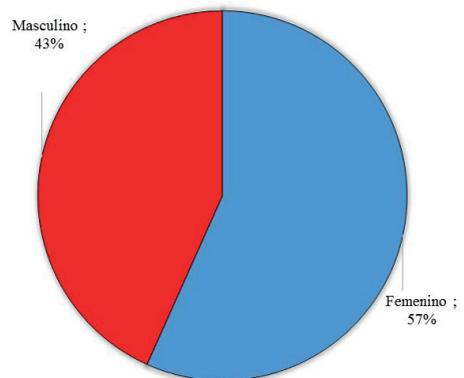


Fig. 3 Género

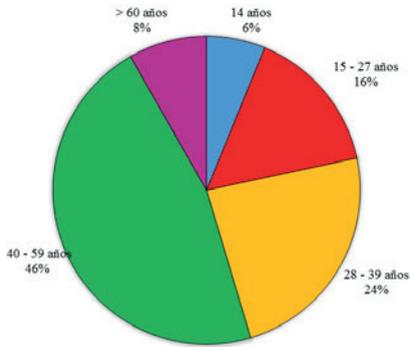


Fig. 4 Edad

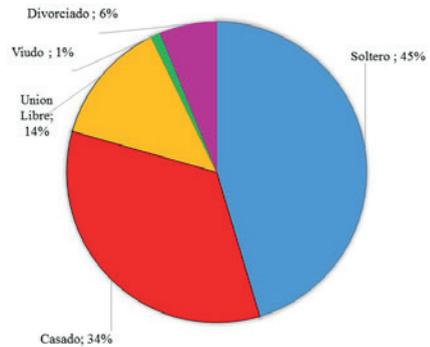


Fig. 5 Estado civil

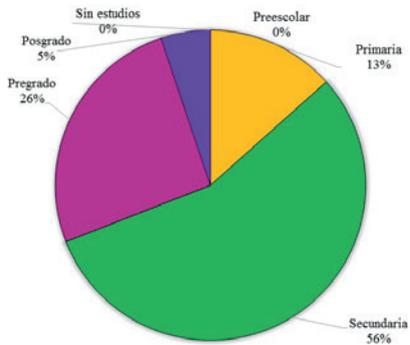


Fig. 6 Nivel de escolaridad

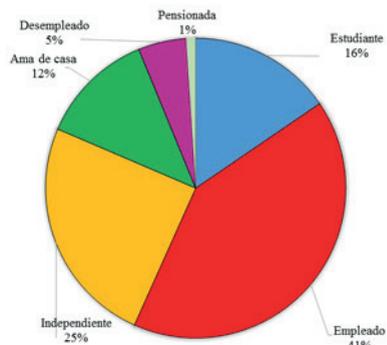


Fig. 7 Ocupación

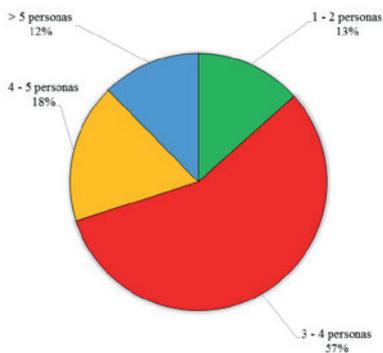


Fig. 8 N° Integrantes por hogar

Identificación de bienes y servicios ambientales

Comprende cuatro coberturas de tierra: zona humedal (espejo hídrico), franja protectora (bosque), quebrada y potrero (Anexo 2), evaluadas a partir de las categorías de servicios descritas en la Tabla 2. Este ecosistema de humedal urbano proporciona beneficios para el mantenimiento del equilibrio ecológico y bienestar de la comunidad, pues los humedales urbanos

son importantes para el desarrollo de ciclos de vida animal y vegetal (Castillo, *et al.*, 2013), constituyendo el hábitat de una gran diversidad de especies. Como sumideros de CO₂, almacenan las aguas de inundación, retienen los sedimentos y reducen la contaminación, entre otros beneficios ambientales. El resultado de estas evaluaciones se articula con planteamientos mundiales en pro de la recuperación y

conservación de ecosistemas, reduciendo y mitigando diversos impactos ambientales, naturales o antrópicos, que modifican el funcionamiento natural del ambiente, adicionalmente, establecen lineamientos para el manejo, protección y rehabilitación ecológica, orientados a la incorporación de estrategias de gestión ambiental que favorecen la dinámica natural, política, económica y social de las comunidades.

Tabla 2. Clasificación de los bienes y servicios ambientales según la VIBSE

Tipo de servicio	Definición	Categoría de servicio	Sub- categoría de servicio
Abastecimiento	Bienes y productos obtenidos de la funcionalidad del ecosistema.	Alimentación	Pesca, caza, ganadería, agricultura, agua para ganado o consumo humano.
		Materia prima	Madera para construcción, leña
		Relacionado con las plantas	Plantas medicinales, plantas ornamentales
Culturales	Beneficios no materiales, del ecosistema que producen tranquilidad y bienestar.	Didáctico	Conocimiento ecológico local
		Disfrute	Belleza del paisaje, recreación
		Identidad	Espirituales, patrimonio cultural e histórico, sentido de pertenencia
Regulación	Procesos biológicos que mantienen el funcionamiento del ecosistema y reducen impactos ambientales.	Ciclos	Captación de CO ₂ y liberación de O ₂ , regulación de temperatura, regulación hídrica, polinización, retención de suelo
		Prevención	Amortiguación de inundaciones, protección ante tormentas, prevención de plagas
		Sumidero	Purificación del agua y del aire

Fuente: Modificado de Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (2014).

La comunidad aledaña al humedal identificó tres tipos de servicios (Tabla 2). Los que representan mayor beneficio para la comunidad son los de regulación 46%, culturales 29% y de abastecimiento 25%. Este hallazgo se diferencia de estudios similares que indican valores con mayor porcentaje de percepción para servicios de regulación y culturales sobre los de abastecimiento (Ñáñez -Martínez et al., 2021; Piraquive, 2018; Gómez y Martínez, 2018); otros autores señalan que los servicios mayormente percibidos son los de abastecimiento, seguidos por los de regulación y culturales (Iftekhar y Takama 2007; Agbenyega, et al., 2009; Rodríguez-Morales et al., 2020; Villamagua-Vergara, 2017).

El predominio de la preferencia sobre un tipo de servicio u otro radica en el área de estudio, pues las ciudades, a diferencia del área rural, son más demandantes por servicios de regulación y culturales (De Groot *et al.*, 2010); en el área rural hay mayor preferencia por los servicios de abastecimiento y en la zona urbana se registra mayor preferencia por los servicios de regulación, pues influyen directamente en la satisfacción de necesidades básicas y la calidad de vida de la comunidad (Martín-López *et al.*, 2012).

En cuanto a los servicios de abastecimiento la comunidad identificó en las zonas de humedal, franja protectora y quebrada nueve subcategorías de servicio: ganadería (14,6%), agua (11,8%), madera (10,9%), leña (13,5%), plantas medicinales (13,5%) y ornamentales (15%). Es importante destacar que la

comunidad aledaña al humedal no realiza extracción o aprovechamiento económico de estos, pero las respuestas a la encuesta se dieron de acuerdo a los potenciales beneficios percibidos, además, manifestaron que la extracción de los productos se realiza con fines comerciales, cuyo beneficio es obtenido por habitantes de calle y personas ajenas al predio (Fig. 9).

Por otro lado, la comunidad tiene una baja percepción de beneficio sobre los servicios de pesca (6,7%), caza (6,7%) y agricultura (7,4%); actualmente no hay aprovechamiento debido a que las prácticas en el territorio como ganadería, reducción y fragmentación de hábitat, cambios en el uso del suelo, crecimiento urbano, manejo inadecuado de residuos sólidos y vertimientos, y pérdida de biodiversidad, han generado problemáticas socio-ambientales, causando deterioro ambiental progresivo del ecosistema y transformados la cobertura vegetal natural comprendida por bosque y espejo de agua a potrero.

Los servicios culturales en las coberturas zona humedal, franja protectora y quebrada se distribuyen en seis subcategorías de servicio: conocimiento ecológico local (17%), belleza del paisaje (18%), patrimonio cultural (16,8%) y sentido de pertenencia (18,2%). Estas representan mayor valor frente a los servicios de recreación (15,3%) y espirituales (14,7%), lo que indica que la percepción de la comunidad se relaciona con la función biológica y apropiación con el ecosistema, mientras que la función productiva del humedal para el sustento no es relevante (Fig. 10).

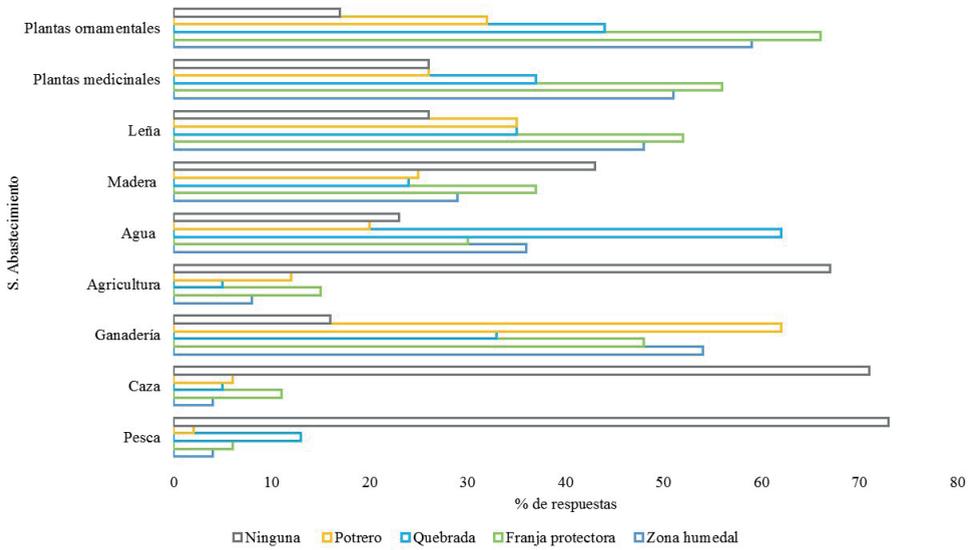


Fig. 9 Servicios de abastecimiento

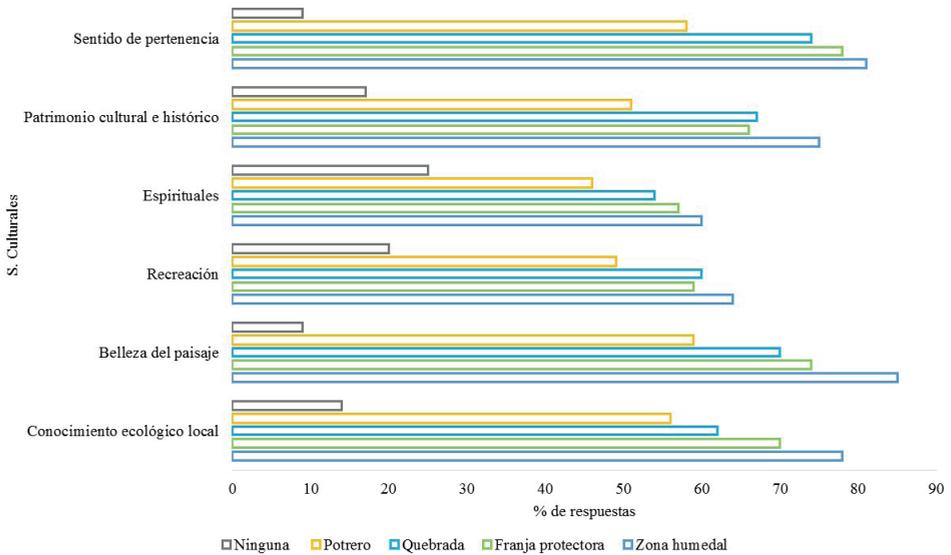


Fig. 10 Servicios culturales

Por otra parte, se encontró que los residentes en zonas alejadas al humedal demuestran menor interés y participación en este estudio, pues la percepción de beneficios es diferente de acuerdo al rol desempeñado en el territorio (Ñáñez - Martínez *et al.*, 2021), en concordancia, los resultados de esta evaluación son proporcionales a los beneficios suministrados y la percepción del estado de conservación del ecosistema. En cuanto a la percepción de los servicios culturales disminuyen dependiendo del grado de ocupación del suelo, de esta manera se establece una relación directa con el deterioro ambiental del mismo (De Groot *et al.*, 2010). En consecuencia, los servicios de abastecimiento y culturales son percibidos en una baja proporción de beneficio en la cobertura de potrero, pues esta se encuentra afectada por actividades antrópicas y sociales realizadas en el área de influencia.

Los servicios de regulación se presentan en 10 subcategorías: captación de CO₂ y liberación de O₂ (11%), regulación de temperatura (10,9%), regulación hídrica (10,8%), polinización (10,3%), retención de suelo (9,1%), amortiguación de inundaciones (9,5%), protección ante tormentas (8,9%), prevención de plagas (9,1%), purificación del agua (9,8%) y purificación del aire (10,7%) (Fig. 11). Estas subcategorías constituyen beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos (Castro *et al.*, 2017) y contienen una alta valoración en función de la utilidad percibida. Desde la perspectiva del conocimiento e importancia ambiental, la comunidad reconoce este escenario como proveedor de beneficios directos para el disfrute de la naturaleza y bienestar humano, siendo los únicos que no registran ausencia respecto a los demás servicios valorados.

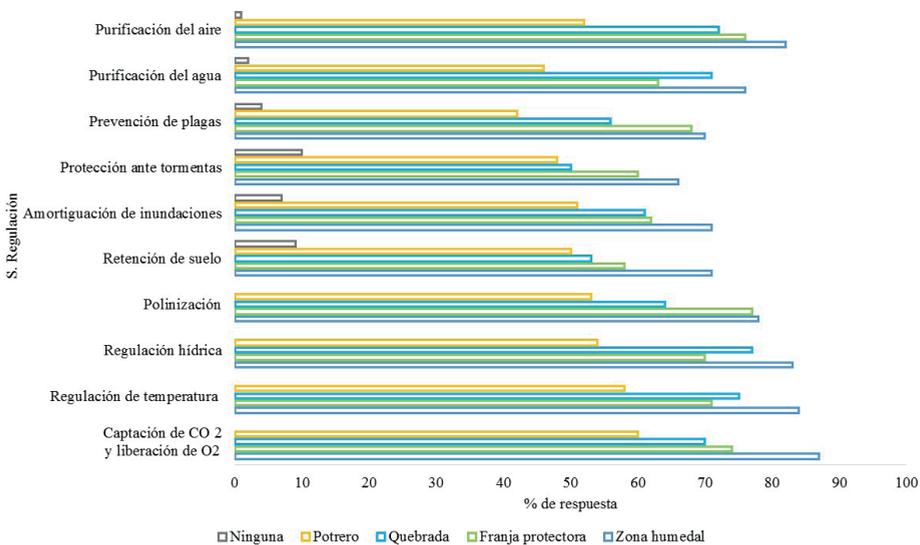


Fig. 11 Servicios de regulación

No obstante, a mayor explotación del suelo aumenta la transformación de la cobertura vegetal y el paisaje sobre la disminución de los servicios de regulación con respecto al incremento del uso intensivo del suelo (De Groot *et al.*, 2010). En consecuencia, la comunidad está dispuesta a vincularse a talleres, capacitaciones, jornadas de limpieza, contribuciones económicas, entre otras actividades que permitan recuperar y fomentar estrategias de conservación del humedal. Hay que mencionar que, en definitiva, la evaluación de los tres tipos de servicios ambientales tiene como factor común la baja percepción de beneficio en la cobertura de potrero, además, las actividades antrópicas han provocado deterioro en el suministro de todas las categorías de BSA estudiadas en esta cobertura de tierra.

Valoración económica de los BSA

Este fue un ejercicio participativo donde se vincularon actores clave: líderes sociales-comunitarios, comité ambiental y comunidad aledaña al humedal. Se basó en el método de valoración contingente (Riera, 1994), de preferencia declarada, estimado en el formato precios en valores de rango, que consiste en realizar encuestas planteando un mercado hipotético sobre la cantidad máxima que estarían Dispuestos A Pagar - DAP por el mantenimiento o mejora de un bien o servicio o, la mínima Disposición A Aceptar - DAA una compensación por cambios que afecten el disfrute del bien o servicio (De Groot, *et al.*, 2007). Debido a la disminución o pérdida de la cantidad o calidad de los BSA identificados, tal valor

se estima mensualmente dentro de un lapso de dos años, para realizar actividades planteadas en el PMA del humedal que contribuyan a la recuperación y conservación de bienes y servicios ambientales. Este consta de cuatro programas, de los cuales se seleccionaron dos: A) Programa de Apropiación legal y Social del humedal: Cerramiento perimetral del humedal para evitar la invasión de animales externos, el depósito de residuos sólidos, entre otros. B) Programa de Recuperación Paisajística-Mantenimiento del arbolado y Reforestación.

Disponibilidad a pagar

El enfoque de la economía ambiental incorpora elementos para asignar valor económico a los bienes y servicios sin precios de mercado respecto a la DAP y DAA (Cabal, *et al.*, 2015). La DAP considera cuánto están dispuestos a invertir para obtener los beneficios del ecosistema (Anexo 3); al respecto, se obtuvo que el 93,3% otorga respuestas positivas, es decir, estarían dispuestas a pagar (Fig. 12). Las cantidades se distribuyen de la siguiente manera: 30,8% pagarían entre \$1000 y \$2000, 23,1% pagarían entre \$2000 y \$4000, 38,5% pagarían entre \$4000 y \$5000, finalmente solo una persona pagaría más de \$5000.

También se registran respuestas negativas donde no se asigna ningún valor económico. El 6,7% de las personas no estarían dispuestas a pagar para tal fin (Fig. 13), 66,7% manifiestan conformidad con el estado actual del humedal y 33,3% falta de interés. Con el objetivo de ampliar la información, algunas personas comentaron

que consideran que la responsabilidad de realizar aportes económicos para actividades de recuperación y conservación del humedal no depende de la comunidad sino de entidades locales como la Alcaldía municipal, Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC, Gobernación del Cauca y entidades nacionales encargadas de gestionar la protección ambiental.

Teniendo en cuenta los bajos valores de disponibilidad a pagar y motivos manifestados, se estableció una relación de este fenómeno con el concepto de *free rider*, problema del polizón, que consiste en que las personas no se responsabilizan por el pago de BSA de uso común, suponiendo que este

costo se asume por otros, aun obteniendo un beneficio colectivo (Olsson, 1965); este comportamiento se relaciona con el *homo economicus* o interés individual separado del interés social u *homo reciprocantes* aun tratándose de un beneficio colectivo, es decir que las personas buscan obtener un beneficio colectivo tomando los aportes realizados por otras personas, evitando un aporte económico individual (Gintis, 2000; Ostrom, 1990). Tales respuestas negativas o de oposición se denominan votos protesta originados por la incertidumbre sobre la estimación realizada y consiste en el análisis subjetivo que hacen las personas sobre el posible impacto económico y social de su aporte (Calia y Strazzer, 2001).

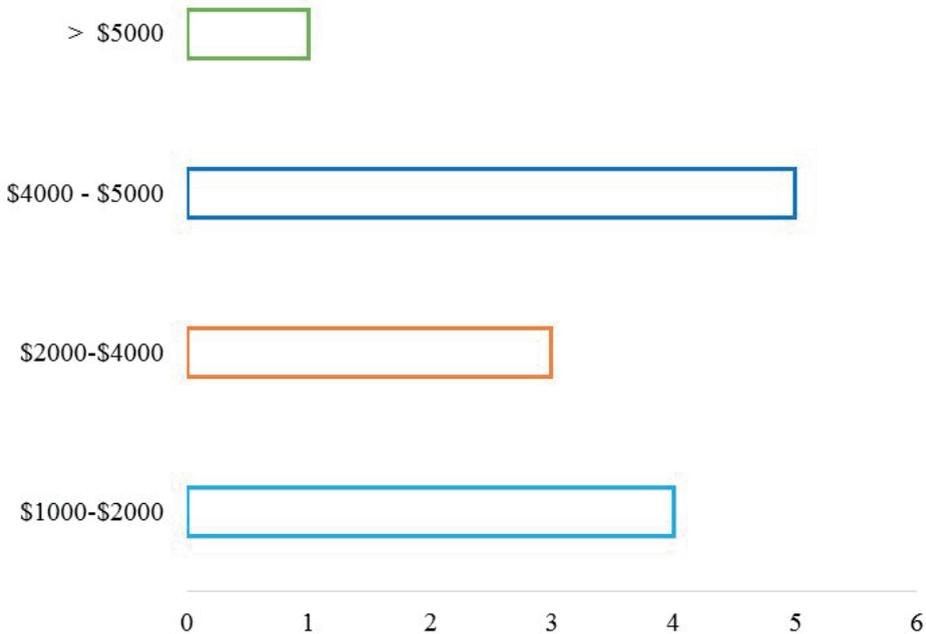


Fig. 12 Disponibilidad a pagar

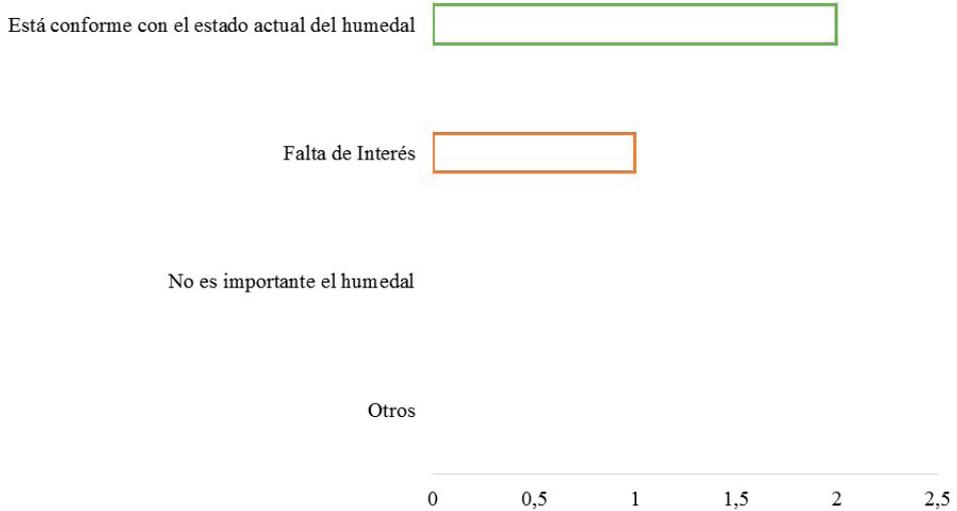


Fig. 13. Motivos de respuestas negativas

Sin embargo, cabe señalar que la valoración contingente, técnica de valoración económica que implica la realización de encuestas, que puede introducir fuentes de error (De Groot, et al., 2007). Con el objetivo de disminuir los sesgos, se tuvo en cuenta el error vehículo de pago, donde la simulación mercados hipotéticos en algunos casos da lugar a rechazo por parte de los encuestados. Esto sucede cuando el individuo, a pesar de valorar los BSA, se opone al método presentado por distintos motivos, por ejemplo porque no esté de acuerdo con el vehículo de pago utilizado (Martín-López, et al., 2012), en este caso, se plantea la alternativa de cambiar el pago por mano de obra en actividades de recuperación y conservación del ecosistema mensualmente durante 2 años:

el 89% está de acuerdo con esta opción, así: 75% ½ día de trabajo, 12,5% 1 día de trabajo, 10% 2 - 3 días de trabajo, 2,5% 4 o más días de trabajo (Fig. 14).

Entre las actividades sugeridas, la comunidad seleccionó las que estarían dispuestos a pagar, donando su tiempo con mano de obra (Fig. 15): campañas de educación ambiental, 70% jornadas para recuperación y conservación 97,7% donación de árboles y reforestación 67,5%, realización y/o participación en eventos culturales 52,5%, préstamo de herramientas trabajo 42,5%, otros 0%, revelando así que la comunidad considera la necesidad de incorporar herramientas de educación ambiental que permitan fomentar valores y principios de conservación en el humedal.

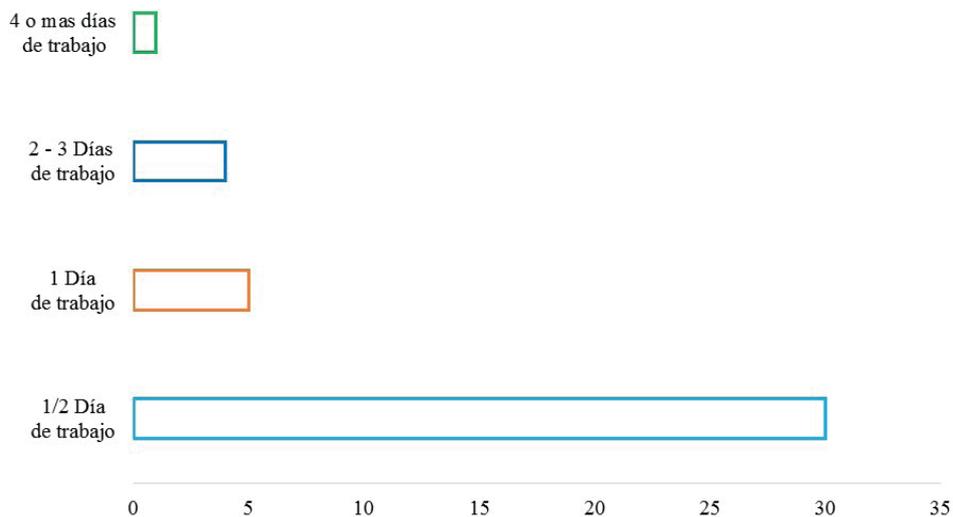


Fig. 14 Disposición mano de obra

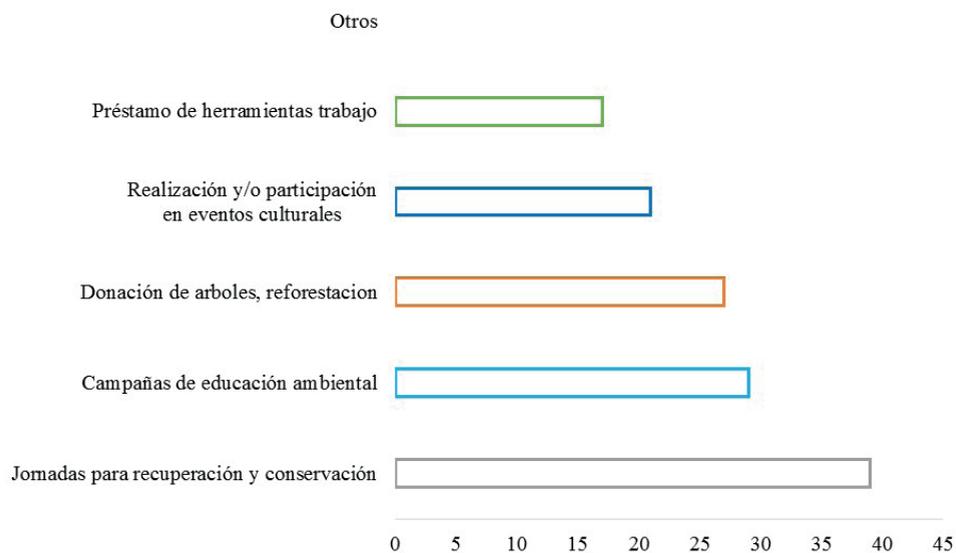


Fig. 15 Disposición mano de obra

Disponibilidad a aceptar una compensación

La valoración contingente busca estimar la mínima disposición a aceptar DAA una compensación por la pérdida o disminución de las características de un bien o servicio (Tequia y Camargo, 2016). En este sentido, el 20% de la comunidad no está dispuesta a recibir ninguna cantidad de dinero pues consideran este ejercicio irreal; tal dinero se expone en un caso hipotético, por tanto, de ninguna manera será entregado a la comunidad, y por ello se niegan a responder esta pregunta, sin un compromiso de entrega real de dinero o insumos de trabajo (Anexo 3). El 80% restante si estaría dispuesto a aceptar la cantidad de dinero expuesta en el caso hipotético, como se ha registrado en ejercicios de valoración económica realizados anteriormente la disponibilidad a aceptar tiende a ser más amplia con respecto a la disponibilidad a pagar. El 6,1% aceptaría entre \$1000 y \$2000, 30,3% aceptaría entre \$2000 y \$4000 pesos, 42,4 % aceptaría entre \$4000 y \$5000 pesos, finalmente el 21,2% aceptaría más de \$5000 (Fig. 16).

Por último, con el fin de comprender la variabilidad entre las respuestas encontradas en esta valoración (estimación de DAP y DAA) podríamos afirmar que la comunidad asigno valores económicos de acuerdo a su percepción; las personas que tienen sentimientos de apropiación por el humedal, en el aspecto social o ambiental se manifestaron valores altos o intermedios en el rango de valores

propuesto, otros asignaron valores bajos justificando la información con variables sociodemográficas, consideradas en la sección anterior de identificación de BSA, tales como estrato bajo (2 y 3), respecto al género Sempertiga y Zavaleta (2021), encontraron que las mujeres representan mayor predisposición de contribuir económicamente, de modo similar Riechard y Peterson (1998), Momsen (2000) y Dietz et al. (2002) afirman que el comportamiento ambiental de las mujeres respecto a los hombres, prevalece porque las mujeres tienen mayor participación en actividades dentro del hogar y sus labores siempre han representado una relación más cercana a la naturaleza, de modo similar, la DAP de las mujeres revela cantidades económicas relativamente superiores y mayor donación de tiempo con respecto a los hombres, demostrando mayor compromiso por parte del grupo femenino para proteger los BSA provistos por el humedal, referente a la DAA, la proporción de género no tuvo diferencia significativa, ambos géneros revelaron valores altos. El rango de edad tuvo importancia entre las personas que registraron aportes superiores a 5000 pesos, pues tienen edades entre 40 años o más de 59 años, mostrando que a mayor edad aumenta la responsabilidad ambiental. Según Espinoza (2021); Martín-López et al., (2012), las personas con mayor grado de educación e interés en la naturaleza están más dispuestas a pagar por iniciativas de conservación, demostrando la similitud con esta afirmación, la mayoría de encuestados tiene estudios entre la primaria y posgrado, no hay personas sin estudios.

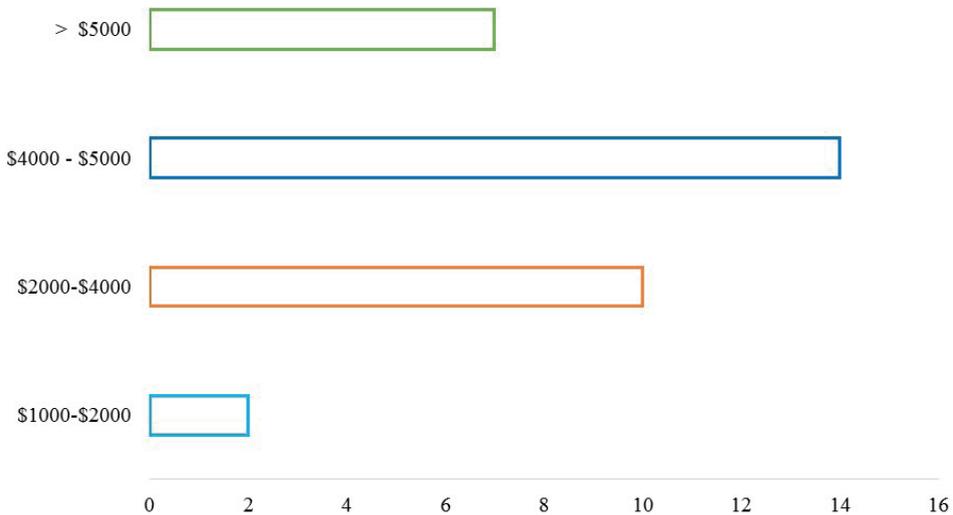


Fig. 16. Disponibilidad a aceptar DAA

Aspectos como el número de integrantes por familia, bajo ingresos o excedentes de dinero, ocupación influyen en la disponibilidad a pagar de la población es este caso, la cifra de desempleo registrada por la Alcaldía de Popayán (2021) refiere que “en el último informe del DANE, el índice de desempleo en Popayán es del 13.4 %,”. También, se presentaron casos particulares donde las personas se negaron a participar en este estudio pues consideran que el humedal no tiene oportunidad de recuperar sus propiedades naturales, debido a las perturbaciones antrópicas, por el contrario otra parte de la comunidad aledaña considera importante este ecosistema urbano puesto que de su funcionalidad se derivan elementos generadores de bienestar social, todos los componentes del ecosistema interactúan entre sí para mejorar

la calidad de vida de las personas, brindando satisfacción humana percibida mediante beneficios directos e indirectos requeridos para el mantenimiento de la biodiversidad. Por lo que se refiere a los elementos requeridos para lograr este propósito la educación ambiental propone una visión ecosistémica y enfoque interdisciplinario, para contribuir a la formación de conciencia, conocimientos y formación de individuos críticos con capacidad de participar en la resolución de los problemas ambientales. (Espinoza, 2021).

Estado, tendencias y factores de cambio de los bienes y servicios ambientales

Conocer el estado, tendencia, y factores que inducen cambios futuros en la provisión y la demanda de los bienes y

servicios ambientales es determinante en la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas y BSA que suministran para la creación de medidas de manejo e intervención, para potenciar los impactos positivos como reforestación, oferta y mantenimiento de BSA) y reducir los impactos negativos como alteración del paisaje, degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, contaminación y déficit hídrico entre otros. En este sentido, se muestra que en los servicios de abastecimiento predomina el estado bajo con tendencia a empeorar tal y como se demuestra en las tablas y figuras siguientes, en sentido opuesto los servicios culturales y de regulación tienen mayor proporción de estado alto, seguido del estado medio, con tendencia a mejorar (Tabla 3).

Tomando en cuenta la variabilidad ante la percepción del estado y tendencia de los BSA estudiados, se evidencia similitud con la sección inicial de este documento sobre identificación y descripción de los mismos, tal percepción está sujeta a la interacción de los residentes cercanos con el ecosistema, por ejemplo, la categoría estado bajo y tendencia a empeorar representa bajo estado de los servicios, debido a factores naturales o antrópicos como crecimiento urbano, habitantes de calle, deforestación, manejo inadecuado de residuos sólidos y vertimientos entre otros, ejercidos al interior y exterior del humedal; la categoría estado medio y tendencia estable, quiere decir, que

el estado de los servicios a evaluar es estable, se refiere a que el deterioro o conservación del servicio no afecta el balance entre la oferta o demanda del mismo; en cuanto al estado alto y tendencia a mejorar, representa que el servicio a evaluar tiene alto grado de conservación o percepción de beneficios directos a lo largo del tiempo.

Los servicios de abastecimiento como pesca, caza, agricultura y madera para construcción se encuentran predominantemente en estado bajo, la tendencia más significativa es a empeorar el estado de dichos servicios pues no hay aprovechamiento, ni percepción de beneficio sobre estos (Fig. 17 -18). por ejemplo la caza es una actividad que se encuentra aislada del sistema económico de la comunidad, cuyos principales ingresos se soportan como empleados, independientes, pensionados entre otros (Fig. 7); la pesca tampoco se ejerce pues como se describe anteriormente, en el humedal se ha reducido el espejo hídrico, además, se utiliza como receptor de vertimientos líquidos y sólidos que alteran las propiedades fisicoquímicas del recurso hídrico; la agricultura es un servicio que no se ejerce, en la extensión del terreno hay ausencia de cultivos y la comunidad desconoce prácticas relacionadas al sistema agrícola; la extracción de madera en plantas leñosas y guadua se ha realizado anteriormente por personas ajenas al predio, que no tienen relación con la comunidad.

Tabla 3. Estado actual y tendencia de evolución de los bienes y servicios ambientales

Tipo de servicio	Categoría de servicio	Sub- categoría de servicio	Estado y tendencia	
Abastecimiento	Alimentación	Pesca	↘	
		Caza	↘	
		Ganadería	↘	
		Agricultura	↘	
		Agua para ganado	↘	
	Materia prima	Madera para construcción	→	
		Leña	→	
	Relacionado con las plantas	Medicina natural	↘	
		Uso ornamental	→	
	Culturales	Didáctico	Conocimiento ecológico local	↔
Disfrute		Belleza del paisaje	↔	
		Recreación	↘	
Identidad		Espirituales	↘	
		Patrimonio cultural e histórico	↔	
		Sentido de pertenencia	↑	
Regulación	Ciclos	Captación de CO ₂ y liberación de O ₂	↑	
		Regulación de temperatura	↑	
		Regulación hídrica	↑	
		Polinización	↑	
		Retención de suelo	↘	
		Amortiguación de inundaciones	↔	
		Protección ante tormentas	→	
		Prevención de plagas	↔	
		Sumidero	Purificación del agua	↔
			Purificación del aire	↔

*Fuente: Adaptado de (Betancur, et al. 2016)

Así mismo, en los siguientes servicios evaluados cada tendencia se determina por el aprovechamiento, observación y percepción de beneficio. Por lo que se refiere a la ganadería, agua y medicina natural, tienen tendencia a empeorar; pues mediante el arriendo del predio el propietario permite la ejecución de estas actividades; la leña y plantas ornamentales tienen tendencia estable, donde la utilidad obedece al aprovechamiento realizado por personas que no representan ningún vínculo con el humedal, de manera general, el estado bajo de los servicios de abastecimiento es producto de diversos aspectos: en el predio no hay control sobre el manejo de los BSA por parte de los entes encargados permitiendo el desarrollo de múltiples actividades que deterioran la oferta de los BSA provistos por el humedal, como prueba la comunidad manifestó que anteriormente existió mayor percepción de beneficio pero gran parte

de estos de los servicios evaluados en este estudio se han deteriorado en el transcurso del tiempo. En el humedal, el estado de los servicios de abastecimiento es bajo con tendencia a empeorar; algo semejante al estudio realizado por (Betancur et al., 2017) en la laguna Sochagota, los servicios de abastecimiento de agua, para distintos usos tiene estado bajo y tendencia estable y los de producción de materias primas biológicas, producción natural de recursos alimentarios tienden a empeorar.

En los servicios culturales, la valoración que mayor predomina en las subcategorías de servicio, es estado alto seguido del estado medio, con tendencia a mejorar (Fig. 19-20), de modo similar (Bocanegra, et al., 2013 y Arana, 2015) encontraron que los servicios culturales estudiados se encuentran en estado alto con tendencia a mejorar gracias a la gestión ambiental comunitaria.

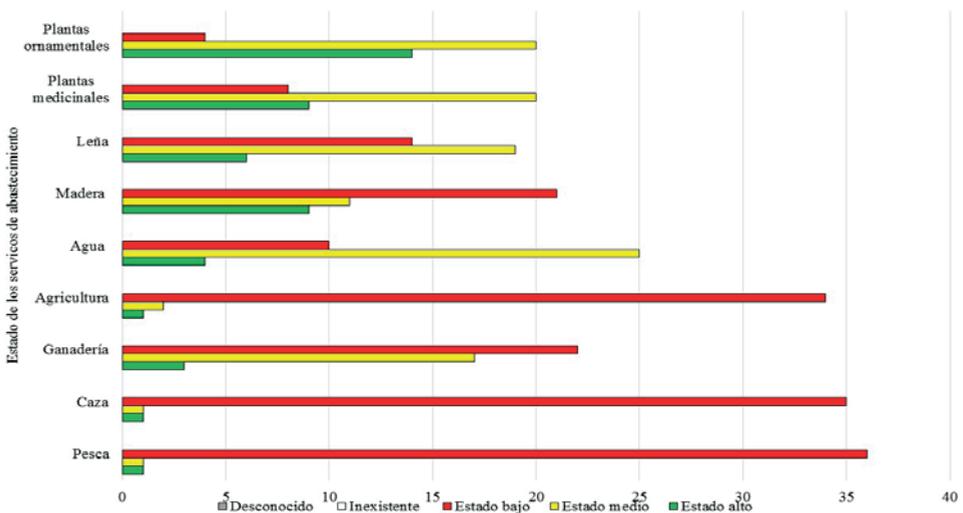


Fig. 17 Estado de los bienes y servicios de abastecimiento

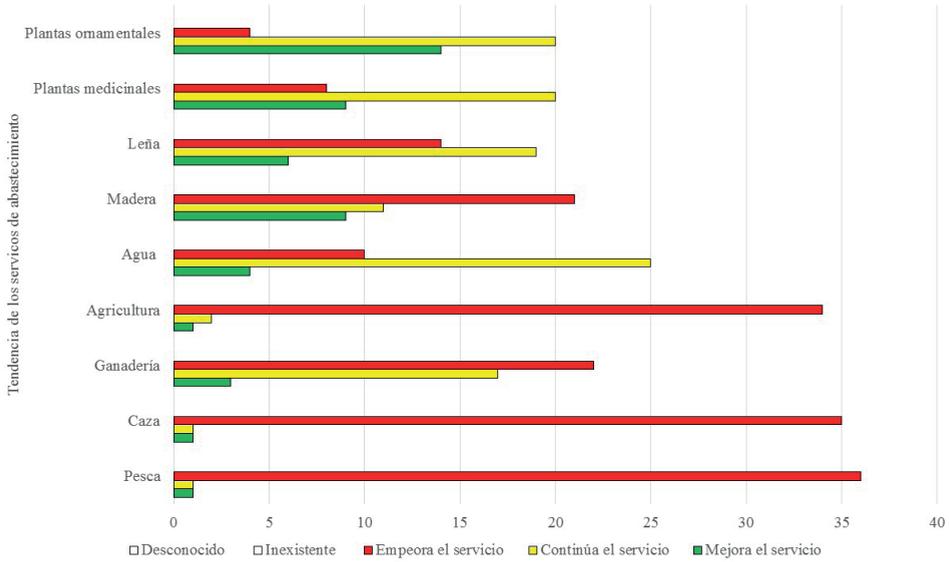


Fig. 18 Tendencia de los bienes y servicios de abastecimiento

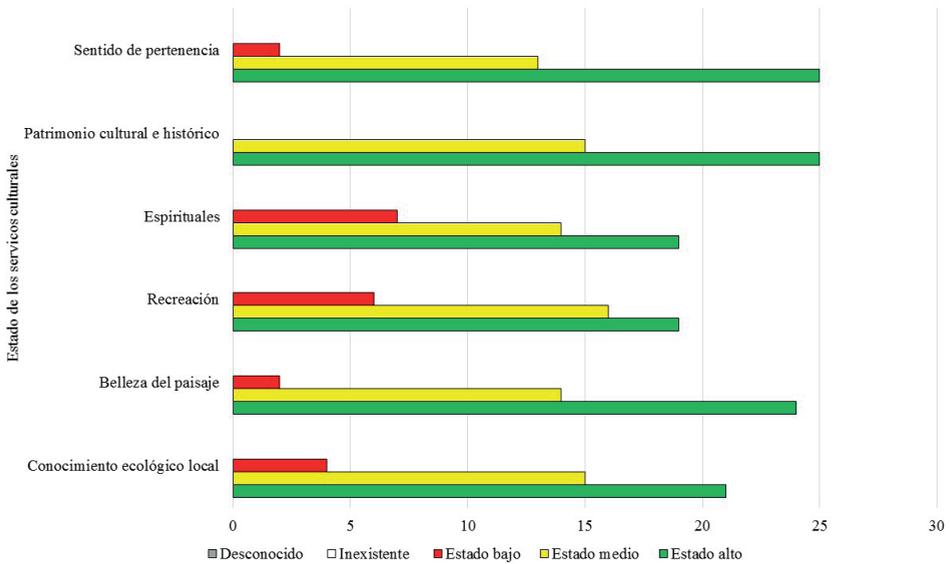


Fig. 19 Estado de los bienes y servicios culturales

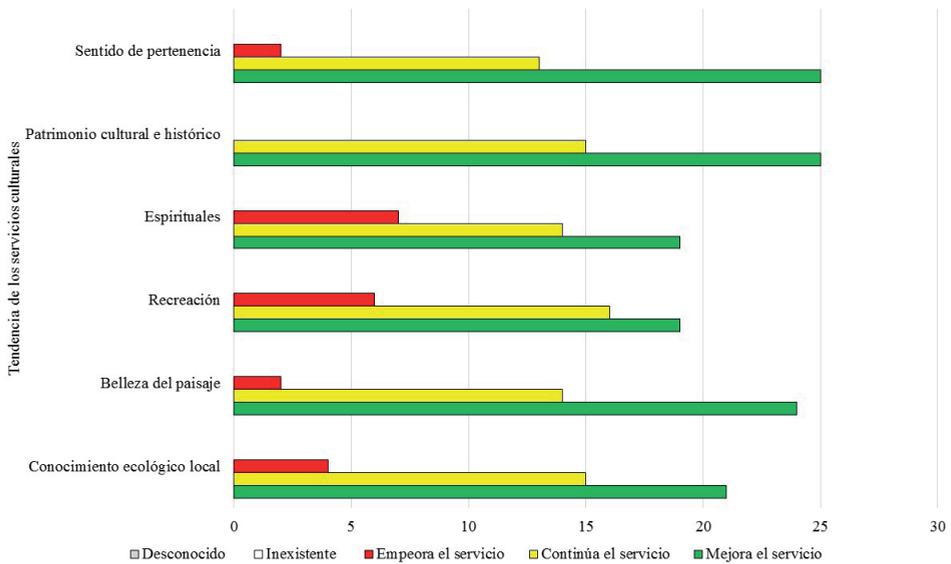


Fig. 20 Tendencia de los bienes y servicios culturales

Entre los servicios culturales, los servicios de recreación y espirituales se encuentran en estado alto, con tendencia a empeorar debido a que su baja percepción se debe a la presencia de habitantes de calle, residuos sólidos y deterioro ambiental del humedal que impide el libre acceso y aprovechamiento de estas subcategorías de servicios, afectando la seguridad de los residentes; sin embargo, existe el reconocimiento de los beneficios directos e indirectos que oferta el humedal y como se podrían utilizar para fomentar espacios para fortalecer la dinámica socio-ambiental de la comunidad aledaña este ecosistema tan importante para el municipio (Castillo, et al., 2013). Adicionalmente, los servicios de conocimiento ecológico local, belleza del paisaje, patrimonio cultural e histórico y sentido de pertenencia, se encuentran en

estado alto, a excepción de la evaluación anterior en estos servicios predomina la tendencia a mejorar, se percibe sentimientos de apropiación con el ecosistema, entre los encuestados se evidencio gran interés por recuperar y conservar estos espacios a través de la educación ambiental y acción comunitaria en apoyo con las instituciones locales correspondientes para promover el mejoramiento del ecosistema en la medida que en el futuro haya mayor aprovechamiento de BSA; se planifique y administre el capital natural, como argumenta Betancur et al., (2016), es necesario involucrar a las personas en estrategias de educación ambiental para lograr la adquisición de información relevante sobre el funcionamiento de los humedales, de este modo se podrían mejorar ejercicios posteriores de valoración de BSA.

En los servicios de regulación, el servicio protección ante tormentas tiene tendencia a mantenerse estable, en los siguientes servicios predomina el estado alto con tendencia a mejorar, el ecosistema regula los ciclos biogeoquímicos por medio de la captación de CO₂, que las plantas almacenan y transforman mediante la fotosíntesis y otros procesos ecológicos para la liberación de O₂, regulación de temperatura, regulación hídrica, polinización, amortiguación de inundaciones, prevención de plagas, purificación del agua y purificación del aire (Fig. 21-22). Su alta preferencia según la comunidad, se expresa de mismo similar al caso de los servicios culturales, la apropiación

de los BSA del humedal, considerados ofrecen mayor beneficio permitiendo que el servicio ambiental tienda a mejorar con el paso del tiempo. Resultado similar surgió en la investigación de Cruz y Macalopu, (2020), donde los servicios de regulación estudiados se encuentran en estado alto con tendencia a mejorar. De manera general, se identificaron resultados positivos que sugieren la necesidad de continuar manteniendo y protegiendo las características de los servicios del humedal de presiones antrópicas que afectan tanto la estructura y el funcionamiento como la propiedad resiliente de los ecosistemas, al igual que la capacidad que estos tienen de ofrecer servicios a la sociedad (Díaz., 2006).

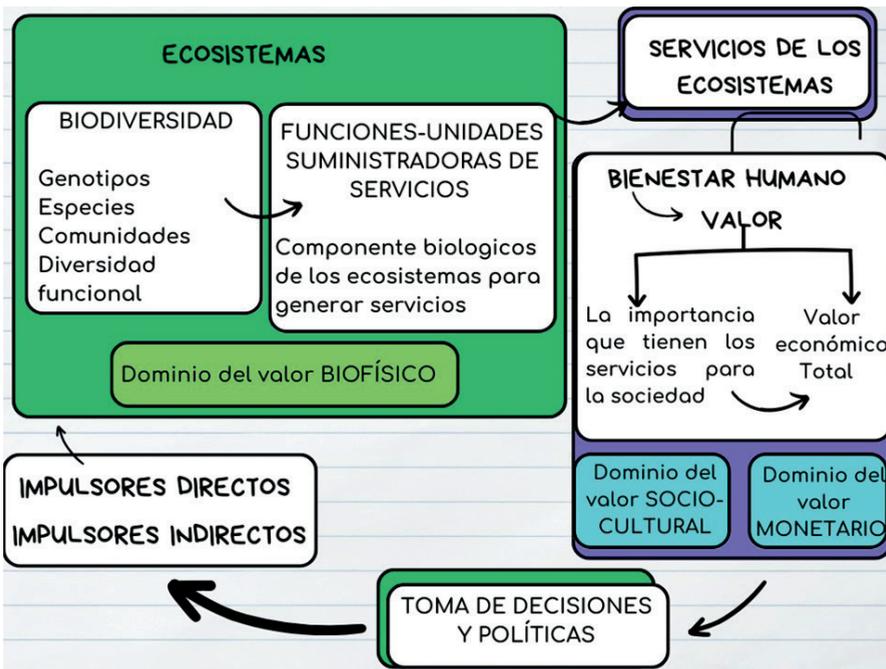


Fig. 21 Estado de los bienes y servicios de regulación

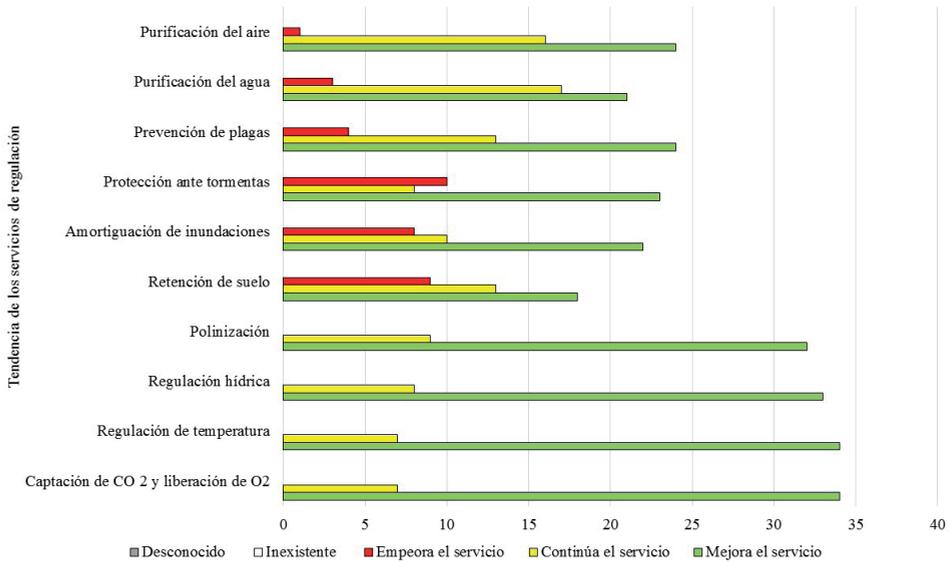


Fig. 22 Tendencia de los bienes y servicios de regulación

Impulsores de cambio

El funcionamiento ecológico y BSA suministrados por el humedal San Antonio de Padua se determinan por el estado y tendencias de los mismos. En este sentido, los impulsores de cambio directos, están definidos por Betancur et al., (2016), como aquellos factores que afectan los servicios ambientales, así como posibles tendencias futuras resultantes de cambios en estos factores. En la (Tabla 4), se muestran los impulsores directos: la explotación intensiva de recursos, cambios en el uso del suelo y contaminación; también existen factores adicionales como pérdida de hábitat, especies invasoras y cambio climático. Los impulsores indirectos de acuerdo a Kosmus et al., (2012), son factores que contribuyen con cambios en los impulsores directos de

los BSA, entre estos se destacan cambios en la población, actividades económicas, tecnología, como también factores sociopolíticos y culturales.

Los principales impulsores directos que inducen cambios en los BSA, son la explotación intensiva de recursos: extracción de agua (humedal y afluente) tiene impacto moderado, principalmente el agua es utilizada en la ganadería cuya tendencia es disminuir debido a la oposición de la comunidad ante esta práctica que afecta el ecosistema provocando procesos de erosión, alteración del paisaje, pérdida de biodiversidad y desecación del escaso espejo hídrico; el impulsor extracción de agua subterránea próxima y subterránea de la cuenca arrojó la categoría “no

existe” en esta valoración. Los impulsores explotación biológica (cultivos, bosque) tienen impacto moderado con tendencia a disminuir rápidamente gracias a la continua acción de la comunidad por conservar al máximo las propiedades naturales del humedal, se han instaurado peticiones ante la CRC, Alcaldía Municipal, la Academia con el fin de apoyar tal propósito comunitario; la ganadería tiene impacto alto y tendencia a disminuir por los mismos motivos anteriores; la pesca tiene impacto bajo y tendencia a disminuir, tal impulsor esta apartado del sistema de vida de la comunidad donde la demanda de este servicio es baja. Por último, el humedal no está afectado por ninguno de los diversos factores relacionados con la explotación mineral. Revelando principalmente impacto moderado, se establece relación con el planteamiento de Franco et al., (2016), los pequeños sistemas productivos extractivos no implican una transformación severa de los humedales, son compatibles con el sistema ecológico y pueden mantenerse con el funcionamiento normal de los sistemas.

A continuación se examinan los cambios en el uso del suelo respecto a los principales impulsores: deforestación y manejo del bosque muestran impacto moderado con tendencia a disminuir, debido a que la extracción de leña y madera por parte de los habitantes de calle se ha detenido gracias a la acción de la policía ambiental, la academia y juntas de acción comunal de los barrios las vegas, los naranjos, maría occidente entre otros integrantes del comité ambiental; la reforestación tiene impacto moderado

con tendencia a mantenerse estable, esta se realiza por algunos integrantes de la comunidad y otras entidades vinculadas con el objetivo de contribuir a la recuperación del ecosistema, sustentando el mantenimiento de interacciones socio ambientales que permitan proteger los insumos necesarios para la oferta de BSA evitando el deterioro progresivo del humedal.

La urbanización, habitantes de calle y vías de comunicación representan un impacto alto, con tendencia a aumentar, de modo similar a las principales afectaciones de humedales a nivel mundial, en el área exterior del humedal se han ejecutado construcciones que representan impactos para el humedal. Mientras tanto Caruso y Ríos (2021) menciona que en los humedales de buenos aires la urbanización se ha incrementado incluso en capitales inmobiliarios cuya inversión se manifiesta en urbanizaciones cerradas, ocupando un papel en la valorización de estos predios vacantes a precios bajos y próximos a la ciudad aumentando el deterioro/contaminación ambiental respecto a este impulsor se presentan tres aspectos: difusa atmosférica y puntual urbana/industrial presentan impacto medio, con tendencia a aumentar rápidamente, debido a los acelerados cambios en el uso del suelo y explotación intensiva de recursos; la contaminación difusa atmosférica se presenta por plantaciones ornamentales, tiene tendencia a disminuir, tales plantas se cultivan mediante con fertilizantes y abonos procesados, según Barragán y Rueda (2019) solo se aprovecha el 6% de la cantidad aplicada, el resto se dispersa mediante procesos biológicos del ambiente.

Tabla 4. Impulsores de cambios, grado de influencia y tendencia actual de evolución de cada impulsor en el funcionamiento del humedal

Aspectos	Impulsores de cambios	Grado de influencia y tendencia	
Explotación intensiva de recursos	Extracción de agua	Del humedal	↘
		De afluyente	↘
		Subterránea próxima	
		Subterránea de la cuenca	
	Explotación biológica	Cultivos	↘
		Bosque	↘
		Ganadería	↘
		Pesca	↘
		Otros	
	Explotación mineral	Combustibles	
		Sales	
		Suelos	
		Rocas	
		Otros	
	Cambios en el uso del suelo	Deforestación	↘
Reforestación		↔	
Manejo del bosque		↘	
Sustitución de especies vegetales			
Agricultura extensiva			
Ganadería extensiva		↘	
Urbanización		↗	
Vías de comunicación		↔	
Otros		↔	
Contaminación		Difusa agrícola	↘
	Difusa atmosférica	↔	
	Puntual urbana/industrial	↗	

	Impacto		Tendencia del servicio
	Alto	⬆	Aumenta rápidamente
	Moderado	↔	Aumenta
	Bajo	⬆	Estable
	Inexistente	↔	Disminuye
	Desconocido	⬇	Disminuye rápidamente

*Fuente: Adaptado de (Betancur, et al. 2016).

Los resultados obtenidos se reflejan en la percepción de bienestar, entonces, las actividades de desarrollo económico y social determinan los impulsores de cambio. Como señala Aponte et al., (2020), las actividades antrópicas que producen impulsores generan presión sobre los ecosistemas en gran parte del mundo evidenciando la necesidad de mejorar la aplicación de acciones jurídicas de manejo ambiental, por otra parte las actividades extractivas de BSA son necesarias para el sostenimiento de muchas comunidades aledañas al ecosistema de humedal, entonces, la estrategia a aplicar sería mantener las condiciones naturales, para disminuir el efecto de los impulsores de cambio en el ecosistema.

Conclusiones

El estudio de los bienes y servicios ambientales del humedal San Antonio de Padua aporta herramientas y datos importantes para la toma de decisiones sobre el capital natural, este propósito debe incluir aspectos sociales

y económicos articulados con la participación comunitaria, reflexionando sobre cómo reducir las problemáticas socio-ambientales promotoras del deterioro ambiental. Los servicios ambientales permiten conocer la importancia del ecosistema en el suministro de utilidades directas e indirectas para el bienestar humano, destacando su compromiso con el territorio, condiciones necesarias para fomentar la recuperación y fortalecimiento de los BSA. Por su parte, la percepción comunitaria evidenció bajo suministro de servicios de abastecimiento en comparación con los servicios culturales y de regulación, considerados por proporcionar mayor beneficio para la comunidad residente.

El valor económico se estableció mediante la disponibilidad a pagar, determinada por variables sociodemográficas como aspecto influyente en la toma de decisiones que involucran costos económicos, respecto a la disposición a pagar el 93,3% responde positivamente, por lo tanto, el 89% de ellos aceptó contribuir con mano de obra. Asimismo, la disposición a aceptar se condiciona por la capacidad económica

de los participantes en la investigación, sin embargo, si se parte del supuesto que los recursos provienen de otras personas, la aceptación es superior, aun obteniendo un beneficio colectivo, presentando incertidumbre por el destino económico y social de tal recurso. Este instrumento de valoración se proyecta como insumo necesario para incorporar medidas de manejo e intervención del ecosistema.

En los servicios de abastecimiento, predomina el estado bajo, con tendencia a empeorar, pues el grado de preferencia es bajo respecto a la utilidad percibida. Los servicios culturales se encuentran mayoritariamente en estado alto a excepción de la recreación y espirituales, que se encuentran en estado medio con tendencia a empeorar. Los servicios de regulación se encuentran en estado alto con tendencia a mejorar; en este sentido, hay mayor sentido de apropiación y se considera de mayor aprovechamiento respecto a los demás servicios ambientales evaluados. Por tanto, es importante vincular a la comunidad en estrategias participativas de educación ambiental que permitan conocer mejor el funcionamiento del ecosistema para comprender y resolver las problemáticas socio - ambientales causadas por actividades antrópicas a través de talleres, programas o proyectos fundamentados en la protección ambiental.

Adicionalmente, se sugiere aplicar el análisis multicriterio (AMC) propuesto Munda (2004), que permite determinar

áreas prioritarias para la gestión sostenible de BSA, seguido del proceso de análisis jerárquico propuesto por Saaty (1970), diseñado para tomar decisiones en evaluaciones subjetivas respecto a múltiples objetivos, criterios, participantes y a la preferencia global de los evaluadores con respecto a las alternativas de solución e intervención en el territorio. Finalmente, es importante continuar este proceso investigativo con estudios relacionados con el dominio de valor biofísico, económico, y socio-cultural. Debido a la baja cantidad de estudios realizados en esta área, se sugiere incluir técnicas de muestreo probabilístico, entre otros instrumentos de análisis de información que permitan integrar los componentes del marco conceptual para la evaluación de los BSA del humedal como ecosistema estratégico urbano.

Agradecimientos

Al Grupo de Investigación en Ecología Tropical UNIET mediante el semillero de investigación Gestión Social y Legislación Ambiental del programa de Ecología de la Fundación Universitaria de Popayán por permitir atender los requerimientos en pro de la recuperación y conservación del humedal San Antonio de Padua. La comunidad, a través de los actores clave, tuvo una participación relevante en la ejecución de los lineamientos diseñados para realizar este proyecto de investigación.

Referencias

Agbenyega, O., Burgess, P.J., Cook, M. y Morris J. 2009. Application of an ecosystem function framework to perceptions of community woodlands. *Land Use Policy* Vol. 26(3): 551-557. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.08.011>

Acuerdo número 06 de 2002. Por el cual se adopta el plan de ordenamiento Territorial para el municipio de Popayán. 2002. Alcaldía municipal de Popayán. Disponible en: <http://popayan.gov.co/sites/default/files/files/ACUERDO%2006%202002%20NOMAS%20POT.pdf>

Aponte, H., Gonzales, S. y Gómez, A. 2020. Impulsores de cambio en los humedales de América Latina: el caso de los humedales costeros de Lima». *South Sustainability*, 1(2), e023. Disponible en: <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-023>

Arana, Medina V. 2015. Análisis y valoración de los servicios de los ecosistemas de humedales asociados al río león (Urabá Antioqueño-Colombia). Su relación con el sistema hídrico subterráneo y con el bienestar humano. Universidad Nacional de La Plata. Urabá Antioqueño-Colombia. 63 pp.

Barragán, D. y Rueda, V. 2019. Evaluación de la viabilidad económica financiera para la creación de la empresa Fert-eco dedicada a la producción de fertilizantes orgánicos. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/ca3391f9-2908-4788-9769-0523d55e5b48/full>

Betancur, T., Bocanegra, E., Custodio, E., Manzano M., y Cardoso da Silva G. 2016. Estado y factores de cambio de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento en humedales relacionados con aguas subterráneas en Iberoamérica y España. *Biota colombiana*. 17(1): 106 – 119. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11761/9355>

Betancur, T., García, D., Vélez, A., Gómez, A., Flórez, C., Patiño, J. y Ortiz, T. 2017. Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia. *Biota colombiana*. 18(1): 1 – 28. Disponible en: <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n01a1>

Carbal, A., Muñoz, J. y Solar, L. 2015. Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales ofertados por el ecosistema de manglar ubicado en la ciénaga de la virgen. Cartagena - Colombia. *Saber, ciencia y libertad*, 10(1), 125–146. Disponible en: <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2015v10n1.918>

Caruso, S. y Ríos, D. 2021. Urbanización, conservación de humedales y conflictos ambientales: el caso de la Laguna de Rocha. *Boletín de Estudios Geográficos* (114), 77–100. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/beg/article/view/4742>

Castillo, D., Ipia, J., Zuñiga, J., Paz, J. y Londoño, L. 2013. Caracterización biológica y socioeconómica del humedal universidad, Municipio de Popayán, Colombia. *Rev.Bio.Agro* vol.11 (1) 174–183. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a21.pdf>

Castro, L., Guzmán, V., y Gutiérrez, J. 2017. La gestión integral de servicios ecosistémicos para la construcción de resiliencia socioecológica. En I. Victorino, L. Castro, C. Caro Caro, F. Zabala Forero, I. Victorino, L. Castro, C. Caro Caro, y F. Zabala (Edits.), *La cuenca del río Orotoy: Conocimientos para la gestión territorial*. Bogotá. 244 pp.

Convención de Ramsar sobre los humedales. 2018. Ramsar. Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/urbanwetlands_sp.pdf

Corporación autónoma regional del Cauca, CRC. 2018. CRC. Disponible en: <https://web2018.crc.gov.co/index.php/ambiental/ecosistemas-estrategicos/humedales>

Cruz, Yajahuanca, Y. R. y Macalopu Sandoval, G.M. 2020. Valoración ecológica para proteger los servicios ambientales de los humedales de la ciudad de Eten, 2019. Universidad de Lambayeque, Chiclayo, Perú. 41-42 pp.

De Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M. y Davidson, N. 2007. Valoración de humedales: Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales, Informe Técnico de Ramsar núm. 3/núm. 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB. En Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza), y Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal (Canadá). 25pp

De Groot, R., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Gowdy, J., Haines-Young, R., Maltby, E., Neuville, A., Polasky, S., Portela, P y Ring, I. 2010. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. Pp 9-40. En Kumar, P. (Ed.). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*, Earthscan Routledge, Londres. 422 pp.

Diaz, S., 2006. Biodiversity regulation of ecosystem services, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and hu-human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, D.C.

Dietz, T., Kalof, L. y Stern, P. 2002. Gender, values and environmentalism. *Social Science Quarterly* 83(1): 353-364. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1540-6237.00088>

Espinoza, Bardales J.L. 2021. Aplicación del método de valoración contingente para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos del área de conservación regional humedales de ventanilla (Lima-Perú). Trabajo de grado en ecología y gestión ambiental. Universidad Ricardo Palma, Escuela de postgrado, Programa ecología y gestión ambiental. Lima. Perú -56 pp.

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA). 2005. Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe de síntesis. World Resources Institute, Washington, D.C. 68 pp.

Franco, L., Delgado, J., y Andrade, I. 2013. Factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia al cambio climático global. *Cuad. Geogr.* 22(2) pp.69-85. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-215X2013000200005

Gintis, H. 2000. Beyond homo economicus: evidence from experimental economics. *Ecological economics.* 35(3): 311-322. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00216-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00216-0)

Gómez, W.S. y Martínez, N.D. 2018. Evaluación de la percepción sociocultural de los servicios ecosistémicos en la cuenca del río Orotoy aplicando la metodología de proceso analítico jerárquico-ahp. Universidad Santo Tomás, Villavicencio-Meta, Colombia. 84 pp.

Idrobo, Guevara M.E. 2018. Formulación de un plan de manejo ambiental para la conservación del humedal “San Antonio de Padua”, Popayán, Cauca. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán – Cauca, Colombia. 11-65 pp.

Iftekhhar, S. y Takama, T. 2007. Perceptions of biodiversity, environmental services, and conservation of planted mangroves: A case study on Nijhum Dwip Island, Bangladesh. *Wetlands Ecology and Management.* 16, 119-137. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11273-007-9060-8>

Índice de desempleo en Popayán tiende a la baja. 2021. Alcaldía municipal de Popayán. Disponible en: <http://www.popayan.gov.co/ciudadanos/sala-de-prensa/noticias/%C3%8Dndice-de-desempleo-en-Popay%C3%A1n-tiende-a-la-baja>

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (s.f) Política Nacional para La Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos PNGIBSE.

Programa de Comunicaciones, Instituto Humboldt. Colombia. Disponible en: http://www.humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE_espa%C3%B1ol_web.pdf

Kosmus, M. Renner, I. y Ullrich S. 2012. Implementar un enfoque sistemático de pasos para la integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del desarrollo. pp 21 - 49.

Kosmus, M., Renner, I y Ullrich, S.2012. Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del desarrollo. Un enfoque sistemático en pasos para profesionales basado en TEEB. pp 1 - 92. Disponible en: http://www.aboutvalues.net/es/data/six_steps/integr_ecosys_serv_in_dev_planning_es.pdf

Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100000. 2010. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, Instituto geográfico Agustín Codazzi y Corporación autónoma regional del Río Grande de la Magdalena. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>

Martínez, A. y Cárdenas, K. 2018. Caracterización cuantitativa de los servicios ecosistémicos a partir de la percepción comunitaria de los pobladores en la región de La Mojana. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de Córdoba. Bogotá. 73 pp.

Martín-López, B., González, J., Vilarity, S., Montes, C., García, M., Palomo, I., Aguado M. 2012. Guía docente. Ciencias de la sostenibilidad. Universidad del Magdalena, Instituto Humboldt y la Universidad Autónoma de Madrid. 30 pp.

Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Palomo, I., Casado-Arzuaga, I., García del Amo, D., Gómez-Baggethun, E., Oteros-Rozas, E., Palacios-Agundez, I., Willaarts, B., González, J.A., Santos-Martín, F., Onaindia, M., López-Santiago, C. y Montes, C. 2012. Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. *PLoS ONE* 7: e38970. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038970>

Mazzoni E. y Gaffuri P. 2009. Entornos de aprendizaje personales para superar fronteras de conocimiento entre sistemas de actividad en la edad adulta temprana. *elearning Papers* 15(1) 1-10. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/255668310_Entornos_de_aprendizaje_personales_para_superar_fronteras_de_conocimiento_entre_sistemas_de_actividad_en_la_edad_adulta_temprana

Momsen, J. H. 2000. Gender differences in environmental concern and perception. *The Journal of Geography*, 99: 47-56.y. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00221340008978956>

Nieto, M., Cardona, L. F. y Agudelo, C. 2015. Análisis de servicios ecosistémicos. Provisión y regulación hídrica. Ungar, P. (ed.) Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. 96 pp.

Ñáñez,-Martínez N.Y., Bustamante-Vidal L.G., Narváez-Zambrano I.A. y Fériz-García. D.A.2021. Valoración sociocultural de servicios ecosistémicos a nivel local. *Novedades colombianas*. 16(1):101 -134. Disponible en: <https://doi.org/10.47374/novcol.2021.v16.2003>

Ocampo, D. 2019. Investigalia. Disponible en:<https://investigaliacr.com/investigacion/el-enfoque-mixto-de-investigacion/>

Olson, M. 1965. *The logic of collective action*, 2a edición., Cambridge Harvard University Press, 1971 [La lógica de la acción colectiva, México, Limusa, 1992].

Ostrom, E. 1990. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge; New York: Cambridge University Press.

Perni, A., Martínez, F., y Martínez J. 2011. Economic valuation of coastal lagoon environmental restoration: Mar Menor (SE Spain). *Ciencias Marinas*, 37(2), 175-190. Disponible en: <https://doi.org/10.7773/cm.v37i2.1889>

Piraquive, R.C. y Velásquez, M.S. 2018. Valoración integral de los servicios ecosistémicos del humedal brisas del llano en el municipio de Restrepo. Universidad Santo Tomás, Villavicencio-Meta, Colombia. 79 pp.

Riechard, D. y Peterson, S. 1998. Perception of environmental risk related to gender, community socioeconomic setting, age and locus of control. *The Journal of Environmental Education*, 30(1), 11-19.

Sodhi, N. S., Ming Lee, T., Sekercioglu, C. H., Webb, E. L., Prawiradilaga, D. M., Lohman, D. J., Pierce, N. E., Diesmos, A. C., Rao, M. y Ehrlich, P. R. 2009. Local people value environmental services provided by forested parks Biodivers Conserv. Disponible en: [https://doi.org/ 10.1007/s10531-009-9745-9](https://doi.org/10.1007/s10531-009-9745-9)

Riera, P 1994. Manual de valoración contingente. Barcelona. 112 pp. Disponible en: <http://132.247.70.26/profesores/blopez/valoracion-manual.pdf>

Rodríguez-Morales, Beatriz., Rocés-Díaz, José V., Kelemen, Eszter., Pataki, György., Díaz-Varela, Emilio. 2020. Perception of ecosystem services and disservices on a peri-urban communal forest: Are landowners' and visitors' perspectives dissimilar? *Ecosystem Services*, 43: 101089, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101089>

Romero, Castañeda J. A. y Cárdenas, Muñoz C. R. 2017. Valoración económica de los servicios ecosistémicos del PNN Tayrona mediante los métodos de valoración contingente y costos de viaje como aproximación al valor económico total. Universidad Santo Tomas, Bogotá – Colombia. 87 pp.

Sánchez, F. 2019. Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista digital de investigación en docencia universitaria*, 13(1) 102-122. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.19083/ridu.2019.644>.

Sempertiga, Herrera K.A. y Zavaleta, Guajardo A.A. 2021. Valoración económica ambiental para la conservación de los humedales del distrito de Huanchaco, Trujillo, La Libertad 2019. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - Perú. 92 pp.

Tequia, L. M. y Camargo, D. A. 2016. Análisis de valoración contingente de restauración ecológica de una cantera en Soacha, Cundinamarca, Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*. 7(2) 171 -183. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/21456453.1566>

Villamagua-Vergara, G. C. 2017. Percepción social de los servicios ecosistémicos en la microcuenca El Padmi, Ecuador. *Revista iberoamericana de economía ecológica*, 27: 102-114. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/revibec/revibec_a2017v27/revibec_a2017v27p102.pdf

Yánes, G. G. y Caula, S. A. 2020. Valoración ciudadana de un proyecto de gestión ecológica en un humedal del mar Caribe en el Parque Nacional San Esteban, Venezuela. *Ecosistemas*, 29(3), 2010. Disponible en: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2010>

Anexos

Anexo 1. Revisión de información documental

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
Andrea Martínez y Klaudia Cárdenas	Caracterización cuantitativa de los servicios ecosistémicos a partir de la percepción comunitaria de los pobladores en la región de la Mojana	2018	Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de Córdoba.	Caracterización de bienes y servicios ambientales	Rehabilitar los humedales de la región de la Mojana recuperando los servicios ecosistémicos que proporcionan bienestar a sus habitantes.	Los servicios en La Mojana se establecieron según la clasificación de la VIBSE en: servicios de abastecimiento; servicios de regulación; servicios culturales, a través de las encuestas y talleres.	Este documento fue importante para determinar el método de caracterización de BSA.	Martínez, A. y Cárdenas, K. 2018. Caracterización cuantitativa de los servicios ecosistémicos a partir de la percepción comunitaria de los pobladores en la región de La Mojana. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de Córdoba. Bogotá. 73 PP.
Margarita Nieto, Luisa Fernanda Cardona y Catherine Agudelo.	Análisis de servicios ecosistémicos. Provisión y regulación hídrica. Guías para el estudio socioecológico de la alta montaña en Colombia.	2015	Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.	Caracterización de bienes y servicios ambientales	Desarrollar la valoración ecológica y social de los servicios de los ecosistemas de alta montaña.	El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) definió términos de referencia para recopilar información a partir de una lista de variables (componente biosférico y componente socioeconómico y cultural) para un entorno regional y un entorno local.	Se utiliza como herramienta de apoyo para la valoración de servicios ecosistémicos	Nieto, M. Cardona, L. y Agudelo, C. (2015). Análisis de servicios ecosistémicos. Provisión y regulación hídrica. En: Ungar, P. (ed.) (2015). Hojas de ruta. Guías para el estudio socioecológico de la alta montaña en Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
Edward Barbier, Mike Acreman y Duncan Knowler	Valoración económica de los humedales. Guía para decisores y planificadores	1997	Ramsar	Valoración económica	Orientar a los decisores y planificadores respecto de las posibilidades que encierra la valoración económica de los humedales y de cómo se pueden realizar estudios de valoración.	Exponer métodos de valoración económica ambiental y económica ecológica).	Información importante para estudiar metodologías de valoración económica y elegir la mejor opción, respecto al área de estudio	Barbier, E. Acreman, M. y Knowler, D. (1997) Valoración económica de los humedales – Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_valuation_s.pdf
Lomas Pedro, Louit Carla, Martin Berta y Montoya Daniel.	Guía práctica para la valoración económica de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas	2005	Researchgate	Guía para la valoración económica de los bienes y servicios ambientales.	Orientar decisores de los métodos de valoración económica ambiental y economía ecológica).	Exponer métodos de valoración económica ambiental y económica ecológica).	Información importante para estudiar metodologías de valoración económica y elegir la mejor opción, respecto al área de estudio	(Lomas et al., 2005) Guía práctica para la valoración económica de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas. https://www.researchgate.net/publication/268285963_OBSOLETOOUTDATED_MATERIALE_GUIA_PRACTICA_PARA_LA_VALORACION_ECONOMICA_DE_LOS_BIENES_Y_SERVICIOS_AMBIENTALES_DE_LOS_ECOSISTEMAS

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
Romero, J. y Cárdenas, C.	Valoración económica de los servicios ecosistémicos del PNN Tayrona mediante los métodos de valoración contingente y costos de viaje como aproximación al valor económico total	2017	Repositorio Institucional Universidad Santo Tomas	Valoración económica de BSA	Valorar económicamente los servicios ecosistémicos del PNN Tayrona	Valoración Contingente y Costo de Viaje	Contiene información sobre la aplicación de la metodología de valoración contingente	Romero, Castañeda J. A. y Cárdenas, Muñoz C. R. 2017. Valoración económica de los servicios ecosistémicos del PNN Tayrona mediante los métodos de valoración contingente y costos de viaje como aproximación al valor económico total. Trabajo de grado en ingeniería ambiental. Universidad Santo Tomas. Programa de ingeniería ambiental. Bogotá - Colombia 87 pp
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Guía de aplicación de la valoración económica ambiental	s.f.	Asociación Nacional de Industrias (ANDI)	Guía para la valoración económica de los bienes y servicios ambientales.	Orientar la aplicación de las metodologías de valoración disponibles	Exponer métodos de valoración económica ambiental y economía ecológica.	Guía para la aplicación de metodologías de valoración económica	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (s.f) Guía de aplicación de la valoración económica ambiental. http://www.andi.com.co/Uploads/Gu%C3%ADa%20de%20Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20Valoraci%C3%B3n%20Econ%C3%B3mica%20Ambiental%20(00000002).pdf
Pere riera	Manual de valoración contingente	1994	Universitat Autònoma de Barcelona,	Valoración Contingente	Guía para la aplicación del método de valoración contingente	Valoración Contingente	Documento guía sobre la corrección de la metodología de valoración contingente	Riera, P 1994. Manual de valoración contingente. Barcelona. 112 pp. http://132.247.70.26/profesores/блоpez/valoracion-manual.pdf

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
Tudela, J. et al	Valoración económica de los beneficios de un programa de recuperación y conservación en el parque nacional molino de flores, México	2011	Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente	Metodos de Valoración económica de BSA	Valorar económicamente todos los bienes y servicios derivados del parque y que son ofrecidos a la sociedad	La tarifa se estimó a través de un modelo logit binomial y usando las variables precio hipotético a pagar, nivel de ingreso, nivel de educación y la percepción ambiental.	Información sobre aplicaciones de valoración económica en el exterior	(Tudela, J. et al., 2011). Valoración económica de los beneficios de un programa de recuperación y conservación en el parque nacional molino de flores, México. http://www.chapingo.mx/revistas
Adolfo Carbal	La valoración económica de bienes y servicios ambientales como herramienta estratégica para la conservación y uso sostenible de los ecosistemas: "Caso Ciénaga La Caimanera, Coveñas - Sucre, Colombia"	2009	Criterio Libre	Valoración económica de BSA	Aproximar el valor monetario de los Bienes y Servicios Ambientales (BSA) ofertados por un ecosistema hídrico, como herramienta estratégica para incentivar la conservación y uso sostenible de los ecosistemas.	Caracterización del ecosistema realizados por la CARSUCRE. Precios de mercado Costo de oportunidad.	Información sobre aplicaciones de valoración económica en el país.	Carbal Herrera, A. (2009). La valoración económica de bienes y servicios ambientales como herramienta estratégica para la conservación y uso sostenible de los ecosistemas: "Caso Ciénaga La Caimanera, Coveñas - Sucre, Colombia" Criterio Libre, 7 (10), 71-89. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3228183
Carbal Adolfo, Muñoz Jhoan, y Solar Lindyley	Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales ofertados por el ecosistema de manglar ubicado en la ciénaga de la virgen, Cartagena - Colombia.	2015	Criterio Libre	Valoración económica de BSA	valoración de los bienes y servicios ambientales (BSA), para evidenciar el potencial de los recursos biológicos de manglar	Caracterización del ecosistema realizados por la CARSUCRE. Precios de mercado Costo de oportunidad.	Información importante sobre aplicaciones de valoración económica en el país.	Carbal, A., Muñoz, J., y Solar, L., 2015. Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales ofertados por el ecosistema de manglar ubicado en la ciénaga de la virgen, Cartagena - Colombia. Saber, ciencia y libertad, 10(6), 125-146. https://doi.org/10.18041/2382-3240/sa-ber.2015v10n1.918

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
Martínez Quiroga, Erika	Valoración económica del humedal Jaboque mediante la aplicación de la metodología de precios hedónicos	2018	Criterio Libre	Metodos de Valoración económica de BSA	Realizar la valoración económica del humedal Jaboque, en Bogotá	Metodología de precios hedónicos, mediante un modelo de regresión lineal.	Casos de aplicación de valoración económica	Martínez, E., (2018) Valoración económica del humedal Jaboque mediante la aplicación de la metodología de precios hedónicos. Unilibre. https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11258
Cadena Jenny, Duque Sergio, Tovar Robinson y Ballesteros Tania.	Valoración económica de los servicios ecosistémicos más importantes que ofrece el humedal Tibanica (Bogotá, Colombia)	2019	Ambiente y desarrollo	Metodos de Valoración económica de BSA	Realizar la identificación y valoración económica de los SE que ofrece el humedal Tibanica en Bogotá.	1) diagnóstico de los SE, 2) evaluación del nivel de importancia de los SE. Castañeda (2014) y 3) cálculo del valor monetario de los SE, método de las Naciones Unidas (Delacámara, 2008)	Casos de aplicación de valoración económica	Cadena, J. Duque, S. Tovar, R. y Ballesteros, T. (2019) Valoración económica de los servicios ecosistémicos más importantes que ofrece el humedal Tibanica (Bogotá, Colombia). Ambiente y desarrollo 23(44). https://doi.org/10.1144/javeriana.aydz3-44 vese
Miranda Taymer, Machado, Rey, Hilda, Brunel, Julio, y Duquesne Pedro	Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero.	2008	Zootecnia Tropical	Metodos de Valoración económica de BSA	Realizar la Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero.	. Evaluación de la biodiversidad florística método descrito por Lamela (1998). . Estimar el contenido de carbono ©, costos evitados	Casos de aplicación de valoración económica mediante costos evitados	Miranda et al. (2008) Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero. Scielo. Zootecnia Trop., 26(3): http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000300005

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
Hernández Alaim, León María A. Pérez Víctor	Valoración económico-ambiental del atractivo turístico Parque Nacional Vinales	2011	Retos Turísticos	Metodo de análisis multicriterio	Realizar la modelación para estimar el valor económico total de los bienes y servicios ambientales del Parque Nacional Vinales	A partir de métodos matemáticos multicriterio, los cuales comprenden una combinación de métodos como el Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process) y la Media Geométrica	Guía para la aplicación de metodologías de análisis multicriterio - proceso de análisis jerárquico.	Hernández, A. León M. y Pérez, V. (2011) Valoración económico-ambiental del atractivo turístico Parque Nacional Vinales. Retos Turísticos: Vol. 10(3): https://www.atacadenia.edu/9794773/VALORACI%C3%93N_ECON%C3%93MICO_AMBIEN-TAL_DEL_ATTRACTIVO_PARQUE_NACIONAL_VINALES?auto=download
Criado Marco, Santos Fernando y Martínez-Graña, A.	Evaluación de la sostenibilidad de la expansión urbana de Salamanca (1956-2018) a través del análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y análisis multicriterio	2020	Unirrijo: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario	Pasos del análisis multicriterio	identificar los impactos ocasionados por la expansión urbana: evaluación multitemporal de los cambios en la cobertura del suelo	Se aplica el análisis multicriterio (AMC) empleando el método de las jerarquías analíticas (AHP) y Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Guía para la aplicación de metodologías de análisis multicriterio - proceso de análisis jerárquico. SIG	Criado, M Santos, F. y Martínez, A. (2020) Evaluación de la sostenibilidad de la expansión urbana de Salamanca (1956-2018) a través del análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y análisis multicriterio. Unirrijo Vol. 34, N.º 1-2. https://dialnet.unirrijo.es/servlet/articulo?codigo=7559675

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
Sánchez Karla, Jiménez Francisco, Velásquez Sergio, Piedra Mario y Romero Eddy	Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica.	2004	Recursos Naturales y Ambiente	Aplicaciones del análisis multicriterio	Desarrollar una metodología de Análisis Multicriterio: determinar áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico	Análisis Multicriterio (AMC) y utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Guía práctica para la aplicación de metodologías de análisis multicriterio - proceso de análisis jerárquico, SIG	Sánchez, K., Jiménez, F., Velásquez, S., Piedra, M., & Romero, E. (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. Recursos naturales y ambiente http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/Karlan.pdf
Hurtado Toshiko y Burno Gerard	El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores.	2005	Universidad Nacional de san Marcos	Aplicaciones del análisis multicriterio	Analizar y comprender la aplicación del método proceso de análisis jerárquico como proceso práctico.	Análisis Multicriterio (AMC), proceso de análisis jerárquico	Procedimiento para la aplicación del análisis multicriterio, AHP	Hurtado, T & Bruno, G. (2005) El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la empresa gráfica comercial MYE S.R.L. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UN. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bivirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.PDF

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
León, L. Moriano, J. y Quito, G.	Aplicación de la metodología de análisis multicriterio para la priorización de inversiones del Pronis - Minsa	2019	Universidad del Pacífico	Aplicaciones del análisis multicriterio	Aplicación de la metodología multicriterio proceso analítico jerárquico (AHP) para jerarquizar y priorizar las inversiones	Análisis Multicriterio (AMC), proceso de análisis multicriterio - AHP	Ejemplo de aplicación de análisis multicriterio - AHP	León, L. Moriano, J. y Quito, G. (2019) Aplicación de la metodología de análisis multicriterio para la priorización de inversiones del Pronis - Minsa. [Tesis de maestría, Universidad del Pacífico] Repositorio Institucional UN. https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/2591/Liliana_Tesis_Maestria_2019.pdf?sequence=1
Tamayo, Elizabeth.	Importancia de la valoración de servicios ecosistémicos y biodiversidad para la toma de decisiones Ciencias Ambientales y Sostenibilidad	2014	Revista Científicas Ambientales y Sostenibilidad	Importancia de la conservación ambiental	Destacar la importancia de la valoración de servicios ecosistémicos	Valoración de servicios ecosistémicos	Resalta la importancia de la valoración de SE.	Tamayo, E. (2014). Importancia de la valoración de servicios ecosistémicos y biodiversidad para la toma de decisiones. Ciencias Ambientales y Sostenibilidad CAS. Vo.1, No.1. https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/articulo/view/10559/16754

AUTORES	TÍTULO	AÑO	REVISTA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	OBJETIVO	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES	CITA
Betancur, T., Bocanegra, E., Custodio, E., Manzano M., y Cardoso da Silva G.	Estado y factores de cambio de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento en humedales relacionados con aguas subterráneas en Iberoamérica y España.	2016	Biota colombiana	Estado de los bienes y servicios ambientales	Generar conocimiento acerca de la interacción entre aguas subterráneas, humedales y seres humanos en Iberoamérica y España, mediante la evaluación de las características hidrológicas, los servicios que prestan estos ecosistemas y los factores que inducen cambios en dichos servicios.	Se plantean 3 fichas: 1) Información general, 2) inventario de BSA, evaluación cualitativa de la funcionalidad y tendencias. Posteriormente, el estado y tendencia de BSA se evalúa mediante la metodología evaluación de ecosistemas del milenio, donde el código estilo semáforo muestra las calificaciones asignadas	permite orientar el procedimiento para determinar el estado, tendencia y factores de cambio de los BSA	Betancur, T., Bocanegra, E., Custodio, E., Manzano M., y Cardoso da Silva G. 2016. Estado y factores de cambio de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento en humedales relacionados con aguas subterráneas en Iberoamérica y España. Biota colombiana. r7(0): 106 – 119. http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9355
Martín López, B., González, J., Vilardy, S., Montes, Carlos., García Lorente, M., Palomo, I., Aguiado M.	Guía docente. Ciencias de la sostenibilidad.	2012	Universidad del Magdalena, el Instituto Humboldt y la Universidad Autónoma de Madrid.	Estado de los bienes y servicios ambientales	técnicos para la delimitación de Ecosistemas Estratégicos. Programas y Humedales	Desarrollar talleres dirigidos a funcionarios colombianos, en los que se exploran temas centrales del enfoque de los sistemas socio-ecológicos, la evaluación de servicios de los ecosistemas, el análisis de conflictos, las instituciones, la gobernanza ambiental y la gestión adaptativa en el territorio.	Este documento fue importante para guiar el proceso de aprendizaje en los sistemas socioecológicos, gestión de la biodiversidad.	Martín-López, B., González, J., Vilardy, S., Montes, C., García, M., Palomo, I., Aguiado M. 2012. Guía docente. Ciencias de la sostenibilidad. Universidad del Magdalena, Instituto Humboldt y la Universidad Autónoma de Madrid. 30 pp.

Anexo 2. Encuesta1: Identificación de bienes y servicios del humedal San Antonio de Padua. Metodología de Valoración Integral de los Servicios Ecosistémicos, VIBSE.

Mi nombre es Jazmín Penagos del programa de ecología de la Fundación Universitaria de Popayán, como trabajo de grado estoy realizando la valoración económica de los bienes y servicios ambientales del humedal San Antonio de Padua en Popayán, Les agradezco su participación respondiendo las preguntas a continuación importantes en este estudio. La información suministrada es confidencial y solo tiene fines académicos.

Información socioeconómica

1. ¿En qué barrio reside actualmente?

Los naranjos		María occidente		Las Vegas	
San Antonio de Padua		La Capitana		Urapanes del río	

2. ¿Con cuál género se identifica?

Femenino ___ Masculino ___

3. ¿Cuál es su rango de edad?

Menos de 14 años ___ Entre 15 y 27 años ___ Entre 28 y 39 años ___ Entre 40 y 59 años ___ Más de 60 años ___

4. ¿Cuál es su estado civil?

Soltero (a) ___ Casado (a) ___ Unión Libre ___ Viudo (a) ___ Divorciado(a) ___

5. ¿Cuál es su ocupación?

Estudiante ___ Empleado ___ Independiente ___ Ama de casa ___ Desempleado ___ Pensionado ___

6. ¿Cuál es su nivel de escolaridad?

No tiene estudios ___ Preescolar ___ Educación básica primaria ___ Educación básica secundaria ___ Educación media ___ Pregrado ___ Posgrado ___

7. ¿Cuántas personas conforman su núcleo familiar?

De 1 a 2 personas ___ De 3 a 4 personas ___ De 4 a 5 personas ___ Más de 5 personas ___

8. ¿Qué problemas de tipo social /ambiental se evidencian en el sector dónde vive?

Indicación: Seleccione la opción (Bienes o servicio ambiental) que considera suministra alguna de las coberturas de tierra designadas en el humedal San Antonio de Padua.

Tipo de servicio	Categoría de servicio	Sub- categoría de servicio	Coberturas				Estado		
			Zona humedal	Franja protectora	Quebrada	Potrero	Alto/ Bueno	Medio/ Regular	Bajo/ Malo
ABAS-TECI-MIENTO	Alimen-tación	Pesca							
		Caza							
		Ganadería							
		Agricultura							
		Agua para ganado – consumo humano							
	Materia prima	Madera para construcción							
		Leña							
	Rela-cionado con las plantas	Plantas medicinales							
		Plantas ornamen-tales							
CULTU-RAL	Didác-tico	Conocimien-to ecológico local							
		Belleza del paisaje							
	Identi-dad	Recreación							
		Espirituales							
		Patrimonio cultural e histórico							
		Sentido de pertenencia							

Tipo de servicio	Categoría de servicio	Sub-categoría de servicio	Coberturas				Estado		
			Zona humedal	Franja protectora	Quebrada	Potrero	Alto/Bueno	Medio/Regular	Bajo/Malo
REGULACIÓN	Ciclos	Captación de CO ₂ y liberación de O ₂							
		Regulación de temperatura							
		Regulación hídrica							
		Polinización							
		Retención de suelo							
	Preven- ción	Amortiguación de inundaciones							
		Protección ante tormentas							
		Prevención de plagas							
	Sumidero	Purificación del agua							
		Purificación del aire							

Enlace: https://docs.google.com/forms/d/1Kvwx_FgUoCcBN7RlxwcIHS83rcl5cfJVL1qZhmzDCIo/edit

Anexo 3. Encuesta 2. Valoración contingente

Ver video: <https://www.youtube.com/watch?v=9zYEt5aCv8I>

1) A que estrato pertenece?

A) 1__ B) 2__ C) 3___ D) 4__ E) 5__ F) 6___

2) ¿Cuánto es su ingreso salarial?

A) Menos del S.ML.V___ B) 1 S.ML.V___ C) De 2- 3 S.ML.V___ D) De 3- 4 S.ML.V___

3) ¿Estaría dispuesto a pagar para desarrollar estrategias de recuperación y conservación de los bienes y servicios de humedal San Antonio de Padua?

Sí_____ No _____

4) Si la respuesta es NO mencione uno o varios motivos

A) Falta de Interés__ B) No es importante el humedal__ C) Está conforme con el estado actual del humedal___ D) Otro

5) ¿Si la respuesta es Sí, mencione cuánto tiempo donaría mensualmente, durante 2 años para recuperar y conservar los bienes y servicios ambientales del humedal San Antonio de Padua?.

A) 1/2 Día de trabajo___ B) 1 Día de trabajo___ C) 2 - 3 Días de trabajo___
D) 4 o más días de trabajo___

6) ¿Estaría dispuesto a participar en una o más de las siguientes actividades Campañas de educación ambiental?

A) Jornadas para recuperación y conservación__ B) Donación de árboles, reforestación__
C) Realización y/o participación en eventos culturales__ D) Préstamo de herramientas trabajo___ E) Otros__

7) ¿Si la respuesta es Sí, mencione cuánto dinero estaría dispuesto a pagar mensualmente, durante 2 años por recuperar y conservar los bienes y servicios ambientales del humedal?

a) \$1000-2000___ b) \$2000-\$4000___ c) \$4000 - \$5000___ d) Más de \$5000___

Especificar valor _____

8) ¿Usted estaría dispuesto a aceptar una compensación económica mensualmente, durante 2 años para recuperar y conservar los bienes y servicios ambientales del humedal San Antonio de Padua?.

Sí_____ No _____

9) ¿Si la respuesta es SÍ, cuanto aceptaría en compensación de su perdida?

a) \$1000-2000 ___ b) \$2000-\$4000 ___ c) \$4000 - \$5000 ___ d) Más de \$5000 ___

Especificar valor _____

Enlace: https://docs.google.com/forms/d/17mellyvH1MF34_XZOF-entyR93ZKoxawbCE8ifjEyXs/edit#responses