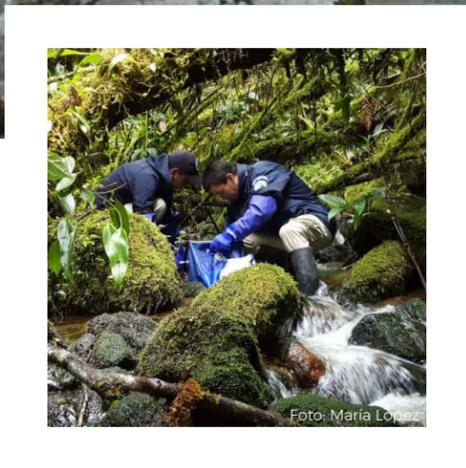


Foto: PNNC

Monitoreo de recurso hídrico usando bioindicadores en el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel



María Nancy López Ramírez

Ingeniera Forestal. Profesional de investigación y monitoreo. Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
pvcmonitoreo.donajuana@parquesnacionales.gov.co

Oswaldo Homero Díaz Molina

Operario, Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
oshdim@live.com

Leonardo Martínez Ordoñez

Operario, Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
leomar0678@hotmail.com

Mesías Nicodemo Guerrero

Operario, Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
nicodemoguerrero@gmail.com

Wilfer Aldivey Muñoz Arcos

Operario, Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
munozwilfer@gmail.com

Sebastián Valencia Rojas

Estudiante de biología Universidad del Cauca.
sebasvalencia@unicauca.edu.co

Water Resource Monitoring Using Bioindicators in the Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel National Natural Park

RESUMEN

Durante cinco años el Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel monitoreó el recurso hídrico en cinco fuentes de agua, cuatro en los puntos de salida del área protegida y otra en la cuenca media del río Mayo, usando como bioindicador el índice de calidad de agua BMWP. Los resultados muestran que las cuatro fuentes monitoreadas al salir del área protegida corresponden a aguas claras y muy claras durante casi todos los años, excepto en 2019 cuando una creciente súbita afectó la calidad del agua en dos fuentes, que se recuperaron en 2020. En el río Mayo la calidad del agua es medianamente contaminada debido a la afectación con actividades humanas. Los macroinvertebrados colectados corresponden a 60 familias de 15 órdenes, corroborando la alta diversidad de los ecosistemas

hídricos de alta montaña. El procedimiento de monitoreo se replica con estudiantes de centros educativos y comunidades locales como herramienta didáctica en educación ambiental para conocimiento de la calidad del agua de fuentes que abastecen acueductos. El área protegida garantiza condiciones adecuadas del hábitat para macroinvertebrados indicadores de buena calidad ambiental del agua y, por tanto, también para organismos a escalas mayores que dinamizan la red trófica, además este monitoreo induce a relaciones interinstitucionales para la protección de las cuencas medias y bajas de estas y otras fuentes hídricas.

Palabras clave: Calidad del agua, bioindicador, BMWP, macroinvertebrados acuáticos.

ABSTRACT

For five years, the Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel National Natural Park monitored the water resource in five sources, four at the outlet points of the protected area and another in the middle basin of the Mayo River using bioindicators and the BMWP water quality index. The results show that the four sources monitored when leaving the protected area correspond to clear and very clear waters during almost all years, except in 2019 when a sudden flood affected the quality of the water in two sources, which recovered in 2020. In the river Mayo the quality of the water is moderately contaminated due to the affectation with human activities. The collected macroinvertebrates correspond to 60 families of 15 orders, corroborating the high diversity of high mountain water ecosystems. The monitoring procedure is replicated with students from educational centers and local communities as a didactic tool in environmental education to learn about the quality of water from sources that supply aqueducts. The protected area guarantees adequate habitat conditions for macroinvertebrates that are indicators of good environmental quality of the water and, therefore, also for other larger organisms, and also induces inter-institutional relations for the protection of the middle and lower basins of these and other water sources.

Key words: Water quality, bioindicator, BMWP, aquatic macroinvertebrates

Introducción

El Parque Nacional Natural Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel (PNN CVDJC) se encuentra localizado en el ramal centro-oriental de los Andes, al sur del Macizo Colombiano en el nororiente de Nariño y sur del Cauca. El sistema hídrico del PNN CVDJC está conformado por las vertientes pacífica y amazónica, siendo la primera ocupada por las cuencas de los ríos San Jorge, Mayo y Juanambú, los cuales a su vez son afluentes del río Patía; mientras en la otra vertiente están los ríos Cascabel, Blanco, Platayaco, Grande, Curiaco, entre otros, que drenan al río Caquetá (Muñoz et al., 2008).

Entre los objetivos de conservación del PNN CVDJC está proteger las zonas altas de las cuencas que drenan a los ríos Caquetá y Patía, esenciales para el abastecimiento de acueductos

municipales y veredales, la generación de energía eléctrica y la producción agropecuaria de las poblaciones aledañas al área protegida (Muñoz et al., 2008). Por lo anterior, se incluyó el monitoreo del recurso hídrico para cinco fuentes hídricas ubicadas en el flanco occidental del parque dentro del programa de monitoreo, con base en los diseños realizados por Wildlife Conservation Society (WCS) en 2012.

En este trabajo se presentan el procedimiento y los resultados para los datos obtenidos desde 2016 hasta el 2020 con periodicidad anual, dando cuenta de los cambios detectados a partir de la metodología implementada y del uso de la información para la toma de decisiones y en actividades de educación ambiental.

Métodos

De acuerdo con el diseño de monitoreo (WCS, 2012), para el primer año se realizó la selección del tramo de muestreo de cada fuente hídrica. En los años siguientes el muestreo se realizó en los mismos puntos o muy cerca a ellos. En la Tabla 1 se presentan los nombres y ubicación de

las fuentes hídricas, las cuatro primeras se monitorearon a la salida del PNN CVDJC y la última en la parte media de la cuenca del río Mayo. En la Figura 1 se observa la localización cartográfica de los puntos de muestreo.

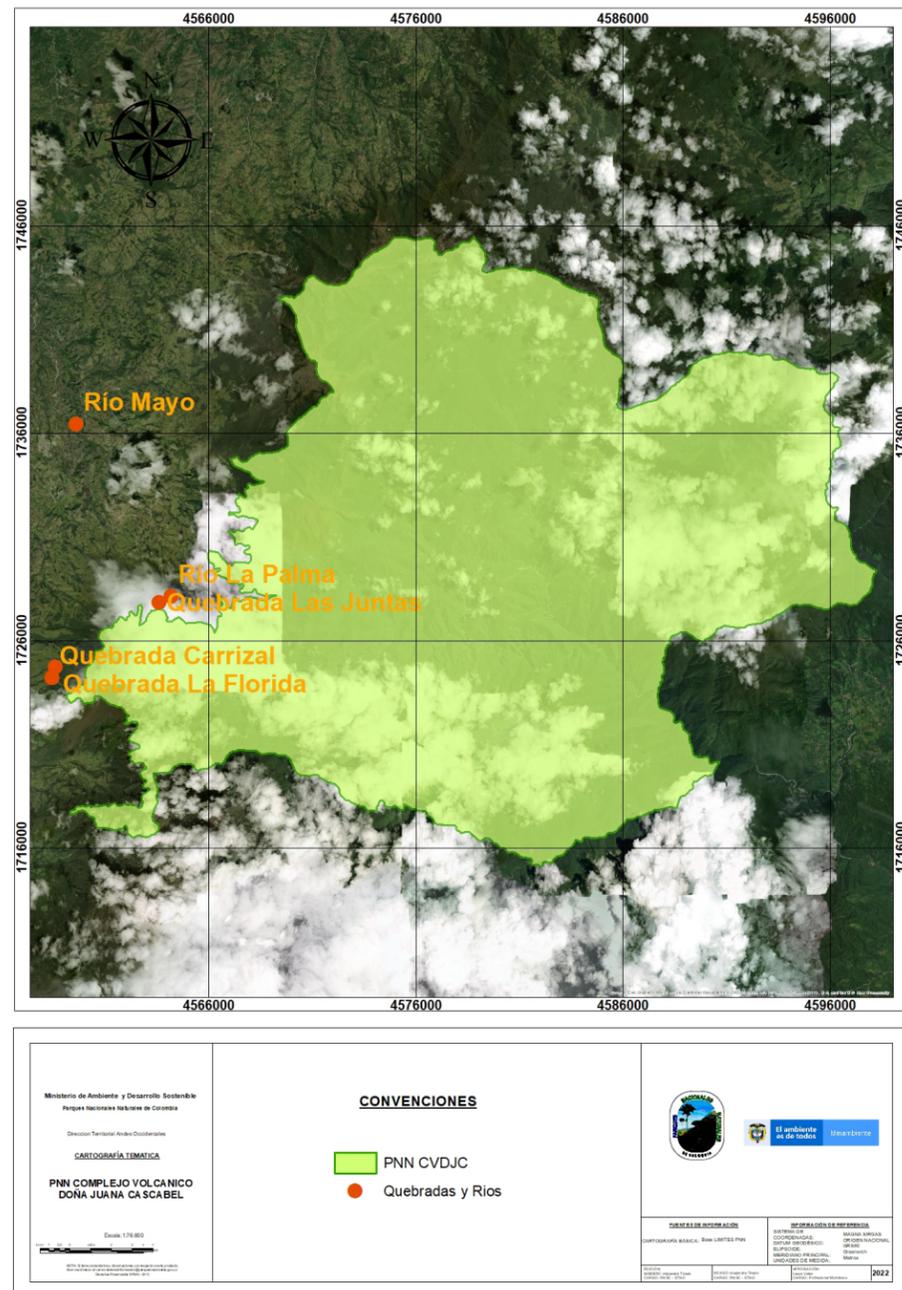
Tabla 1

Nombres y ubicación de las fuentes hídricas monitoreadas

Nombre fuente	Municipio/Vereda	Longitud (W)	Latitud (N)	Altitud (m)
Quebrada Las Juntas	La Cruz/La Palma	76° 55'17,2"	1° 31'59,2"	3009
Río La Palma	La Cruz/La Palma	76° 54'59,1"	1° 32'8,5"	2949
Quebrada La Florida	El Tablón/La Florida	76° 58'0,2"	1° 30'17,8"	2955
Quebrada Carrizal	El Tablón/El Carmelo	76° 58'4,5"	1° 30'0,9"	2947
Río Mayo	La Cruz/La Vega	76°57'27,8"	1°36'37,7"	2043

Figura 1

Localización de los puntos de monitoreo de recurso hídrico



Al momento del muestreo se hizo una descripción general de cada tramo, incluyendo características físicas y bióticas del entorno, sustratos que componen el lecho del río de acuerdo con el tamaño de las partículas, proporción de regímenes de velocidad (rápidos, remansos, piscinas), porcentaje de acumulación de hojarasca u otra materia orgánica,

presencia de elementos ajenos a los naturales, basuras, etc. También se realizó una descripción de las condiciones atmosféricas en el momento y las previas al día del muestreo. Se incluyeron anotaciones como cambios observados en el río o quebrada y sus alrededores entre meses de muestreo u otras que se consideraron pertinentes.

Inicialmente se tomó información de las características organolépticas de las fuentes hídricas. Luego, con un termohigrómetro se tomaron datos de temperatura ambiental y humedad relativa del aire y con una sonda multiparámetro se midieron la temperatura, pH y conductividad eléctrica del agua, en ocasiones y de manera complementaria, se midió el caudal usando flotador en fuentes pequeñas y correntómetro en fuentes más grandes. Toda esta información se registra en un formato de campo diseñado para ello por la profesional a cargo.

Para la colecta de especímenes, se hizo en los diferentes microhábitats del tramo de muestreo como bloque, canto, grava, arena y hojarasca usando red surber. De manera complementaria se hizo una búsqueda directa, no mayor a 20 minutos, en la zona húmeda de las piedras emergentes. Posteriormente se procedió a separar los macroinvertebrados capturados y fueron llevados a viales o frascos de vidrio con alcohol industrial al 70 % debidamente etiquetados.

Los especímenes colectados en los años 2016 y 2020 fueron identificados hasta familia por la profesional del PNN CVDJC usando guías (Roldán-Pérez, 2003 y Álvarez Arango, 2005) y estereoscopio, en 2017 fueron identificados por una docente de la Universidad del Valle y en 2018 y 2019 por un pasante de la Universidad

del Cauca. Los datos fueron sistematizados en una hoja de cálculo de Excel con base en el modelo de datos elaborado por PNNC.

A partir de las familias de macroinvertebrados que fueron identificadas, se calculó el valor del índice BMWP adaptado para Colombia (Zamora, 1999 y Zuñiga & Cardona, 2009). Este consiste en un valor de tolerancia de 1 a 10 para las familias de acuerdo con la adaptación a condiciones de alteración del hábitat, siendo 1 para los más resistentes y 10 para los menos tolerantes. El valor total del índice BMWP se calcula con la sumatoria para cada sitio de los valores de las familias.

Los resultados se interpretan con base en la Tabla 2 que establece las características del agua y el color cartográfico.

Se realizó el mismo procedimiento en un afluente de la parte alta del río Sambingo con estudiantes del Centro Educativo Montañitas del municipio de Bolívar - Cauca, en la quebrada San Bernardo que surte el acueducto de la cabecera municipal de Santa Rosa - Cauca con estudiantes de la Institución Educativa José Acevedo y Gómez, y con las personas beneficiarias del acueducto rural de la vereda Veinte de Julio de Santa Rosa, quienes aprendieron a conocer la calidad del agua de sus fuentes hídricas usando bioindicadores.

Tabla 2

Clases de calidad de agua y sus colores para representaciones cartográficas del BMWP

Clase	Rango	Calidad	Características	Color cartográfico
I	≥121	Muy buena	Aguas muy claras	Azul Oscuro
II	101 - 120	Buena	Aguas claras	Azul Claro
III	61 - 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 - 60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo
V	16 - 35	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤15	Muy Critica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Nota: Fuente Wildlife Conservation Society, 2012.

Resultados y discusión

Parámetros fisicoquímicos del agua y ambientales

Estos no variaron mucho para cada fuente durante los cinco años, por ello en la Tabla 3 se presenta el valor promedio para cada parámetro medido.

Los valores de temperatura ambiental y humedad relativa del aire corresponden al clima característico de bosque altoandino; la conductividad eléctrica de las primeras cuatro fuentes

hídricas muestra pocos sólidos disueltos en el agua mientras el río Mayo tiene mayor cantidad debido a su recorrido más largo y la intervención humana, sin embargo, todos los valores corresponden a aguas naturales de tierras altas. Del caudal se deduce que las fuentes hídricas muestreadas cerca del PNN CVDJC son pequeñas, con poca cantidad de agua fluyendo en los cauces, mientras el río Mayo tiene una mayor cantidad de agua por unidad de tiempo debido a su recorrido más largo.

Tabla 3

Parámetros ambientales y características físico químicas en los puntos de muestreo de las fuentes hídricas

Parámetro	Fuente hídrica				
	La Palma	Las Juntas	Carrizal	La Florida	Mayo
Temperatura ambiente (°C)	15	15	14	14	20
Humedad relativa (%)	80	73	83	77	70
pH	7,0	7,0	7,0	6,5	8,0
Temperatura del agua (°C)	12	13	11	10	15
Conductividad eléctrica (µS/cm)	57	280	12	10	158
Caudal (l/s)	128,264	129,26	18,286	12,76	7.088,0

Valor del índice BMWP

Los valores calculados cada año del índice BMWP, se presentan en la Tabla 4 con el color cartográfico correspondiente y en la Figura 2 se muestran los resultados en barras para cada fuente hídrica en los cinco años de monitoreo. Existen fuentes hídricas que no tienen datos

para algunos años debido a dificultades que se presentaron para el muestreo.

Según el comportamiento del bioindicador, las quebradas Carrizal y La Florida mantienen aguas claras y muy claras durante todo el período de monitoreo y tienen los valores más altos del índice, excepto en 2017 por un deslizamiento

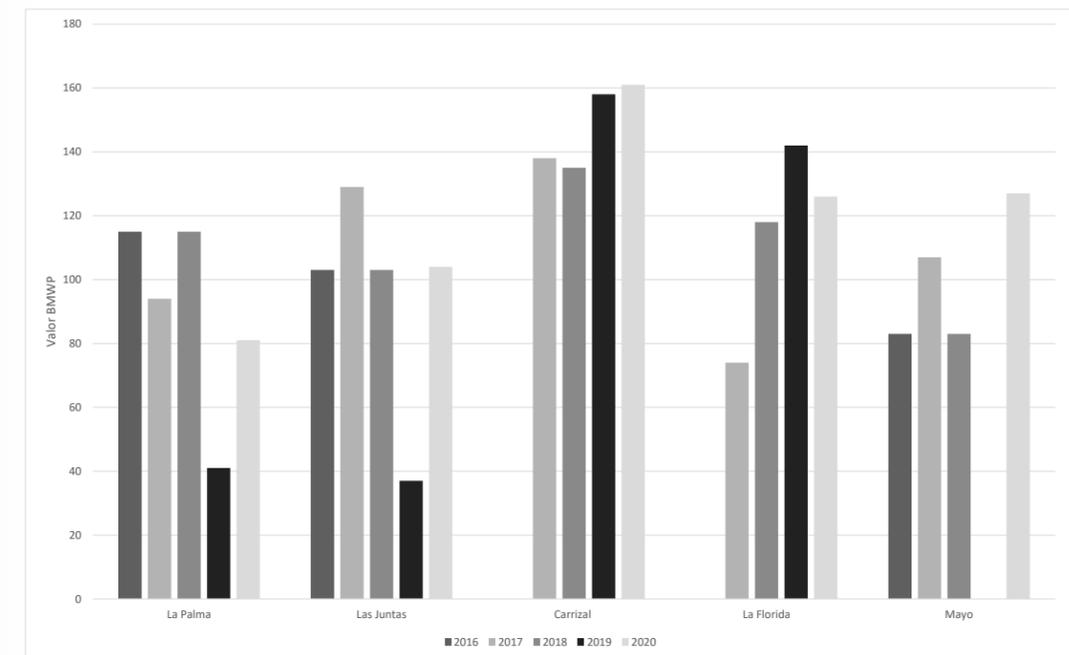
Tabla 4

Valores del índice BMWP para las fuentes hídricas monitoreadas para cinco años

Año	Fuente hídrica				
	La Palma	Las Juntas	Carrizal	La Florida	Mayo
2016	115	103	Sin datos	Sin datos	83
2017	94	129	138	74	107
2018	115	103	135	118	83
2019	41	37	158	142	Sin datos
2020	81	104	161	126	127

Figura 2

Valor del índice BMWP para las fuentes hídricas en los diferentes años de muestreo



sobre Carrizal. Estas quebradas afloran en el páramo Doña Juana al interior del parque, las coberturas vegetales en las riberas corresponden a bosque denso o vegetación secundaria de porte alto y no tienen influencia de actividades antrópicas. El río La Palma y la quebrada Las Juntas en 2019 fluctuaron entre aguas muy claras, claras y medianamente contaminadas hasta aguas contaminadas, ocasionadas por una creciente súbita que afectó estas fuentes con sedimentos y restos orgánicos de hojarasca y madera; sin embargo, en 2020 se recuperaron llegando a tener aguas claras, mostrando la resiliencia de estos ecosistemas acuáticos ubicados en sitios conservados. Estas dos fuentes se encuentran en sitios con vegetación de bosque denso en topografía fuertemente escarpada en una cuenca muy dinámica que provoca deslizamientos y movimientos en masa frecuentes, lo cual se refleja en el comportamiento del índice. El río Mayo presentó algunos períodos con valor BMWP correspondiente a aguas contaminadas, debido a la alteración de las condiciones naturales del agua con actividades antrópicas, a la presencia de vegetación de cultivos de café y hortalizas en las riberas y varios centros poblados

que han depositado en el cauce aguas servidas. Aun así, en 2017 y 2020 se alcanzó un valor del índice correspondiente a aguas claras, debido posiblemente al aumento de la precipitación en la parte alta de la cuenca que puede tener un efecto diluyente en los contaminantes del agua.

Respecto a los macroinvertebrados acuáticos muestreados en las fuentes hídricas, se colectaron individuos de 60 familias y 15 órdenes, evidencia de una alta diversidad en ecosistemas acuáticos de alta montaña. Predomina el grupo de los insectos ya que 8 de los 15 órdenes y 49 de las 60 familias, están en este grupo, la mayoría de ellos se colectaron en estado inmaduro ya que utilizan las fuentes hídricas para la reproducción y las primeras etapas de desarrollo. En el [Anexo 1](#) se presenta el número de individuos por familias para cada fuente hídrica y para cada año de muestreo.

Las familias Baetidae, Chironomidae, Elmidae, Leptophlebiidae y Simuliidae presentan mayor número de individuos en las colectas y son más genéricas en su distribución puesto que se hallaron en todas las fuentes hídricas. En

tanto las familias Dixidae, Dolichopodidae, Ephydriidae, Glossiphoniidae, Hydraenidae, Mesoveliidae y Philopotamidae son de distribución restringida a algunas fuentes hídricas

y con menor número de individuos, lo cual amerita estudios más detallados. En la Tabla 5 se presentan los órdenes y familias respectivas identificadas.

Tabla 5

Órdenes y familias de macroinvertebrados acuáticos en fuentes hídricas monitoreadas

Orden	Familia
Acari	Lymnessiidae
Araneae	Araneidae
Basommatophora	Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae
Coleoptera	Chrysomelidae, Elmidae, Hydraenidae, Hydroscaphidae, Staphylinidae, Gyrinidae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Scirtidae
Diptera	Blephariceridae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Dixidae, Dolichopodidae, Empididae, Ephydriidae, Muscidae, Psychodidae, Simuliidae, Stratiomyidae, Tabanidae, Thaumaleidae, Tipulidae
Entomobryomorpha	Isotomidae
Ephemeroptera	Baetidae, Caenidae, Ephemeridae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae
Haplotaxida	Naididae, Tubificidae
Hemiptera	Guerridae, Macroveliidae, Mesoveliidae, Veliidae
Lepidoptera	Crambidae, Tortricidae
Lumbriculida	Lumbriculidae
Plecoptera	Perlidae
Trichoptera	Anomalopsychidae, Calamoceratidae, Ecnomidae, Glossosomatidae, Helicopsychidae, Hidropsychidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Odontoceridae, Philopotamidae, Polycentropodidae
Tricladida	Dugesidae, Planariidae

Se destacan las 13 familias del orden Trichoptera, un grupo de insectos con buen potencial en términos de bioindicación de calidad de agua, ya que la mayoría de las familias son sensibles a los cambios en el hábitat y la calidad del agua. Las familias Leptoceridae, Odontoceridae, Hydroptilidae, y Philopotamidae están reportadas por Zuñiga y Cardona (2009) como altamente sensibles a cambios ambientales, por tanto, su presencia en las fuentes hídricas monitoreadas en el PNN CVDJC da cuenta del buen estado del hábitat para la reproducción de las especies de estas familias.

En cuanto al orden Ephemeroptera, las formas inmaduras tienen buen potencial en bioindicación, ya que algunos géneros de las familias son

sensibles a la degradación del hábitat. Zuñiga y Cardona (2009) destacan el género *Haplohyphes* de la familia Leptophlebiidae, *Mayobaetis* de la familia Baetidae, y *Atopophlebia* y *Thraulodes* de Leptophlebiidae entre los más sensibles a cambios ambientales, y si bien el monitoreo realizado no identifica los especímenes hasta género, la presencia de estas familias en las fuentes hídricas y de algunos de estos géneros es un indicador del buen estado de conservación de los ecosistemas acá evaluados.

También merece mención la familia Perlidae del orden Plecoptera cuyo valor de tolerancia es 10, del cual se encontraron individuos del género *Anacroneuria* en todas las fuentes hídricas con mayores abundancias en las quebradas

Carrizal y La Florida y menores abundancias en el río Mayo. Según Zuñiga y Cardona (2009), la mayoría de especies del género son naturales de la región andina, su alta sensibilidad a cambios ambientales y su presencia en las fuentes hídricas, corrobora una vez más la salud de los ecosistemas acuáticos monitoreados.

Otro hallazgo interesante incluye la apropiación temporal de microhábitats por parte de algunas familias de macroinvertebrados en momentos específicos, por ejemplo, luego de la creciente súbita en la quebrada Las Juntas en 2019, aparecieron muchos individuos de la familia Naididae, la cual habita en lugares donde hay grandes cantidades de materia orgánica, esta familia no apareció en el muestreo del siguiente año (2020), ya que la disponibilidad de materia orgánica disminuyó.

Este evento en las quebradas Las Juntas y La Palma, y el de la quebrada Carrizal en 2017, dio paso a replantear la interpretación del bioindicador: El número de familias e individuos disminuyó con la creciente súbita, pero aquellas familias que predominaron tienen un valor de tolerancia alto, mostrando que este hábitat es dominado por familias exigentes en calidad ambiental. Por tanto, un menor número del indicador BMWP no se debe interpretar siempre como aguas contaminadas, sino que se deben analizar los procesos ecológicos. De igual manera, en futuros diseños de monitoreo de recurso hídrico con bioindicadores en PNNC, se deben usar los géneros y no las familias para el cálculo del bioindicador, ya que varias familias tienen géneros con tolerancias diferenciales a la calidad ambiental del hábitat acuático.

Finalmente, se destaca la importancia de las áreas protegidas en el mantenimiento de la

alta calidad ambiental del recurso hídrico para la supervivencia y reproducción de este tipo de invertebrados acuáticos, lo cual permite deducir de manera indirecta que las condiciones también son óptimas para otro tipo de fauna y flora que se vinculan a la red trófica.

Para las fuentes hídricas monitoreadas con la comunidad, el bioindicador BMWP tuvo valor de 119 para el afluente del Sambingo y 46 y 38 para las quebradas San Bernardo y Veinte de Julio respectivamente. En estas dos últimas se encontraron dificultades en el manejo de acueductos veredales relacionadas con acumulación de materia orgánica en las bocatomas, desprotección de las riberas de los cauces y falta de mantenimiento de los tanques, lo cual se está mejorando por parte de la comunidad.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos medidos en las fuentes hídricas en cuestión, los resultados corresponden a aguas naturales de alta montaña según Roldan (2003), lo cual es compatible con el índice BMWP. Solo el valor de la conductividad eléctrica en las quebradas Carrizal y Las Juntas, y en el río La Palma aumentó durante los eventos de creciente súbita, pero igual que el índice, volvió a su valor normal al siguiente año. Esto corrobora la buena calidad ambiental del recurso hídrico que aflora en el PNN CVDJC.

Estos resultados han permitido conocer la dinámica del recurso hídrico del parque que brinda las condiciones para la permanencia de las redes tróficas en sus etapas iniciales y ello confirma la integridad ecológica del área. De igual manera, brinda elementos para la valoración de los servicios ecosistémicos que involucran el recurso hídrico y ha sido un factor fundamental en educación ambiental con comunidades que se abastecen del agua que aflora en el parque.

Conclusiones

Las cuatro fuentes hídricas monitoreadas cerca al parque presentan valores fisicoquímicos de agua naturales de alta montaña y aguas claras y muy claras en la mayoría de los años; cuando hubo alguna alteración hacia aguas contaminadas, la resiliencia del ecosistema permitió la rápida recuperación de las condiciones naturales, lo cual muestra que El PNN CVDJC garantiza la buena calidad del agua de las fuentes hídricas que afloran al interior del área protegida pero no puede garantizar esta calidad en las fuentes

Agradecimientos

Al equipo profesional, técnico y operativo del PNN CVDJC que siempre estuvieron comprometidos con el trabajo de campo que fue muy exigente y a las Universidades del Cauca y del Valle por el apoyo en la identificación de las colectas. A las comunidades aledañas al PNN

de la zona de influencia como el río Mayo. Por otro lado; el número de órdenes y familias de macroinvertebrados acuáticos colectados en el monitoreo, dan cuenta de la alta diversidad de los ecosistemas acuáticos de alta montaña. Finalmente, vale la pena destacar que cuando se vinculan las comunidades cercanas al PNN CVDJC al monitoreo de fuentes hídricas de importancia social, no solo se complementa el trabajo, sino que se aporta al bienestar de la gente y se socializa el quehacer del área protegida.

CVDJC por comprometerse con la protección de las fuentes hídricas que afloran en el parque y aportan servicios ecosistémicos para la población de veredas y municipios del área de influencia del PNN CVDJC.

Referencias

Álvarez Arango, M.L. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Muñoz Molano, R., López de Viles, N., & Castañeda, D. (2008). *Plan de Manejo 2008-2013 del PNN Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel*. Dirección Territorial Surandina. Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Roldán-Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Editorial Universidad de Antioquia.

Wildlife Conservation Society. (2012). *Formulación del diseño de monitoreo para el recurso hídrico en la cuenca alta del río Mayo dentro del PNN Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel y su área de influencia*. Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Zamora, G. H. (1999). Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Revista Unicauca Ciencia*, 4,47-60.

Zúñiga, M. DEL C. & Cardona, W. (2009). *Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental*. En: J. Cantera, Y. Carvajal & L. M. Castro (comps.). *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos*. Programa Editorial de La Universidad del Valle.