



DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO NEGRO Y AFLUENTES

Con base en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, ficoperifiton, macrofitas y peces



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Corporación Académica Ambiental



DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO NEGRO Y AFLUENTES

Con base en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, ficoperifiton, macrofitas y peces



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Corporación Académica Ambiental

Cornare. Determinación de la calidad ecológica del Río Negro y afluentes con base en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, ficoperifiton, macrofitas y peces. Medellín: Fondo Editorial XXXXXXXXXX. Corporación Académica Ambiental Universidad de Antioquia.

1 - Medio Ambiente 2 - Calidad del agua 3- xxxxxxxxx

Primera edición: septiembre de 2021

ISBN publicación impresa:

ISBN publicación electrónica:

Cornare

Director

Javier Parra Bedoya

Subdirector de Recursos Naturales Cornare

Álvaro López Galvis

Coordinador del recurso hídrico Cornare

John Fredy Quintero Villada

Corporación Académica Ambiental Universidad de Antioquia

Director

Jairo Zapata Martínez Director

Coordinadora de Extensión

Liliana Henao

Autores

Tito Machado Cartagena (Licenciado en Biología)

Yuliana Patiño (Bióloga)

Laura Forero (Bióloga)

Ludy Yanith Pineda (Bióloga, magíster en ingeniería ambiental)

Ana Milena Zapata Toro (Bióloga)

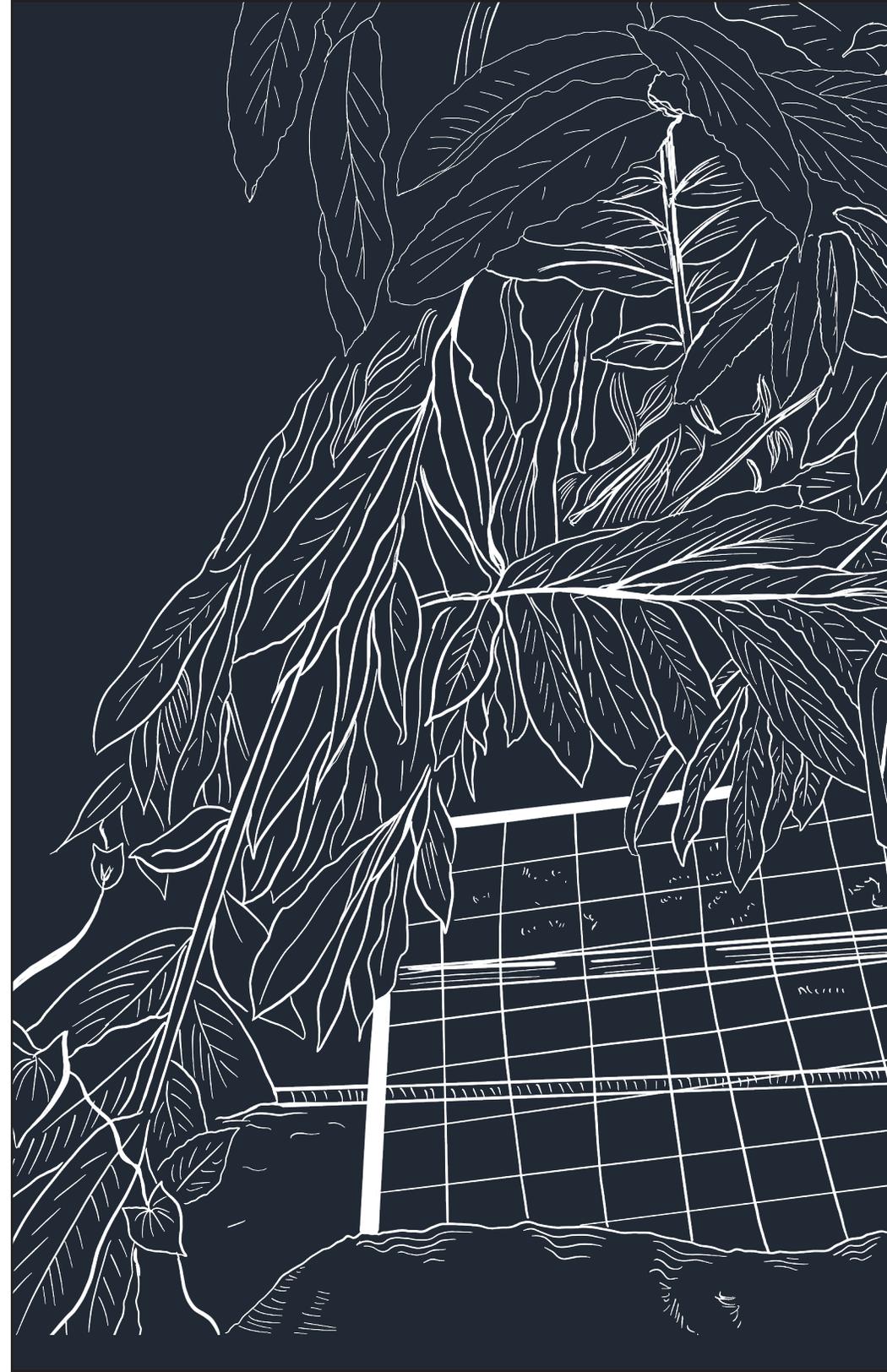
Diana Marcela Arenas Serna (Bióloga)

Diana María Agudelo Echavarría (Dra. Ingeniería Ambiental)

Esnedy Hernandez (Dra. Biología)

Coordinación editorial y diseño

Andrea Trujillo Rendón

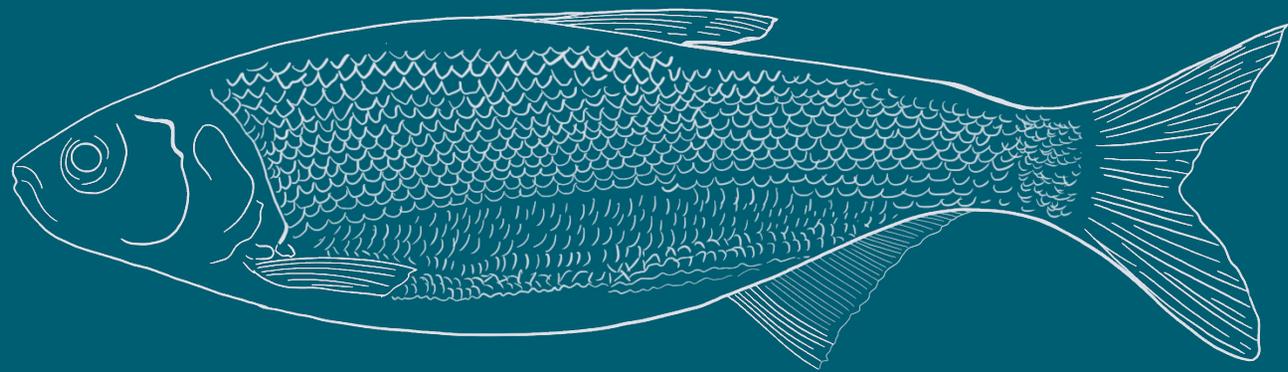




Esta publicación es realizada con fines educativos y su distribución es gratuita. Ley 23 de 1982, artículo 32. Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin autorización de los autores o los editores.

Publicación realizada en el marco del convenio 225-2020 realizado con Cornare “Determinación de la calidad ecológica del Río Negro y afluentes con base en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, ficoperifiton, macrófitas y peces”, cuyo propósito es “Determinar la calidad física química y biológica de la cuenca del Río Negro y sus principales afluentes a partir del muestreo de 31 estaciones distribuidas estratégicamente mediante bioindicadores de calidad del agua.”

Medellín - Colombia
2021



Presentación

Presentamos a la comunidad científica y académica la guía producto del convenio 225-2020 realizado con Cornare “Determinación de la calidad ecológica del Río Negro y afluentes con base en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, ficoperifiton, macrófitas y peces”, cuyo propósito es “Determinar la calidad biológica de la cuenca del Río Negro y sus principales afluentes a partir del muestreo de 31 estaciones distribuidas estratégicamente mediante bioindicadores de calidad del agua.”

Esta publicación suministra a sus lectores los aspectos contemplados en ordenamiento del recurso hídrico continental superficial, mediante una serie de estrategias, actividades y aspectos relacionados con los componentes de macroinvertebrados, ficoperifiton, macrófitas y peces y su relación con las variables fisicoquímicas, así como la aplicación estadísticas de los diferentes índices sugeridos por la resolución como el Índice de Calidad Ecológica (ICE) Forero et al. (2014) y el Índice de Promedio Ponderado Hidrobiológico (IPPH).

La cartilla está dividida en varios componentes:

1. Áreas de muestreo

El equipo de investigación definió las estaciones de muestreo de acuerdo con las establecidas por CORNARE para monitoreo fisicoquímico, teniendo en cuenta los estudios previos, estaciones limnigráficas y las condiciones hidrogeomorfológicas que favorezcan la toma de muestra, respuesta de actores claves al proyecto, condición de márgenes y lecho, entre otras

Para estimar la composición y estructura de los diferentes grupos taxonómicos, se determinó la riqueza, abundancia y biomasa (peces) de individuos en los diferentes sitios de muestreo y se realizó una descripción de las características biológicas de los principales órdenes encontrados.

2. Componentes biológicos

Comunidades de macroinvertebrados.

Se determinaron los macroinvertebrados acuáticos como testigos de la calidad ecológica de la cuenca teniendo en cuenta su dominancia, presencia y diversidad y con ellos se aplicaron los diferentes índices ecológicos los cuales permitió conocer su estructura y función ecosistémica. Se utilizó la metodología definida de acuerdo a las características de los diferentes hábitats seleccionados.

Comunidad de perifiton.

El perifiton es una comunidad que se compone de virus, bacterias, algas, hongos, animales, material detrítico orgánico e inorgánico (Wetzel, 1982), son útiles para evaluar los efectos de los contaminantes en sistemas lenticos y lóticos. El perifiton presenta respues-



ta inmediata bajo las fuentes de contaminación y se le reconoce como un importante indicador biológico de la calidad del agua. Las características hidrológicas y fisicoquímicas, así como los disturbios, la heterogeneidad espacial y temporal, definen la distribución, la dispersión, la colonización y la respuesta de los organismos al medio. La dinámica del perifiton también es controlada por factores como la luz, velocidad de la corriente, además del tipo de sustrato, composición química del agua, clima, vegetación ribereña, herbívoros y temperatura (De La Parra-Guerra et al., 2017; Montoya & Acosta, 2011; Moschini-Carlos, 1999).

La importancia que se le atribuye al perifiton en los ecosistemas acuáticos es su producción de metabolitos orgánicos que alimentan diversos organismos; su contribución con más del 70 % de la materia orgánica a la productividad total; altas tasas de reciclaje, su alta productividad primaria (Díaz, C & Rivera, 2004; Montoya M. & Ramírez R., 2007) y son la principal fuente de energía que direcciona la producción en los niveles tróficos más altos (De La Parra-Guerra et al., 2017).

Comunidad de macrófitas



Las plantas acuáticas llamadas también macrófitas son aquellas que se desarrollan en ambientes acuáticos principalmente lenticos. Sin embargo, algunas de estas crecen asociadas a las riberas de las corrientes, las cuales son consideradas de condición semi-acuática. Entre otros aspectos, las plantas acuáticas tienen alguna relevancia al considerar que le dan estabilidad al terreno, que son utilizadas en la remoción de contaminantes y empleados como indicadores de la calidad del agua por contaminación orgánica (Arocena & Mazzeo, 1994; Hidalgo et al., 2005; Serna et al., 2012).

Comunidad de peces



Se ha considerado que Colombia puede ser el país con mayor riqueza de especies de agua dulce por área geográfica a nivel mundial debido a la diversidad y singularidad de sus zonas hidrográficas (Maldonado-Ocampo, 2005) y la heterogeneidad de las variables físicas y químicas que, presentes en dichos ecosistemas, propician la ocurrencia de una alta diversidad biológica, tales como vertebrados, invertebrados, protozoos, algas, plantas y bacterias.

Las comunidades de peces presentan algunas ventajas sobre otros grupos biológicos para evaluar un ecosistema dulceacuícola (Frenzel et al., 1996): existe información acerca de la historia de vida de la mayoría de las especies, además las comunidades ícticas incluyen una gran variedad de especies que ejemplifican a varios niveles tróficos y fuentes de alimentación, tanto terrestres como acuáticos; su posición alta en las cadenas tróficas en comparación con algunos invertebrados y diatomeas permite una visión integral del ambiente acuático; son relativamente fáciles de identificar y pueden evaluarse efectos de toxicidad (ausencia de algunas especies) y estrés (crecimiento deprimido, bajo éxito reproductivo) (Frenzel et al., 1996).

Índices

Índice Promedio Ponderado Hidrobiológico (IPPH)

Es la obtención de un único valor indicador basado en los valores de calidad hidrobiológica de cada una de las comunidades evaluadas en la cuenca priorizada. La ponderación de cada índice es requerida para darle un valor de importancia de acuerdo a las respuestas entre los factores bióticos y abióticos, esto se debe a que los organismos de cada una de las comunidades presentan respuestas distintas a las variables físico-químicas, de esta manera, se da más peso a los valores que mejor respuesta presenten a la calidad (MADS, 2018)

El Índice de Calidad Ecológica (ICE RN-MAE)

El desarrollo de este índice se fundamenta en los métodos descritos por Haase & Nolte (2008), Chalar et al. (2011) y Forero (2012). La herramienta básica para su aplicación es el monitoreo biológico, un instrumento centrado en el uso de los atributos estructurales y/o funcionales de las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas (Hart 1994, en Forero 2012).

Contempla la relación entre la variación de la abundancia de macroinvertebrados bentónicos, fitorifiton, macrófitas y peces, junto con los cambios en las variables físico - químicas. Para el tratamiento de los datos es necesario estandarizar los valores de los parámetros fisicoquímicos y bióticos, siguiendo el método propuesto por Guisande-González et al. (2006),

Con base en los resultados obtenidos se puede evidenciar el estado actual del recurso hídrico estudiado desde su calidad ecológica aceptable hasta el deterioro progresivo en su continuo longitudinal. Por eso es importante que la comunidad genere cambios de actitud hacia la protección, conservación y sostenibilidad, tanto a nivel social, familiar e individual. La escuela es opción, mediante estrategias pedagógicas que generen un cambio de actitud para su protección y conservación, y establecer las relaciones entre la educación y el medio ambiente.



Contenido

Presentación	7
Metodología	23
Análisis Estadístico	32

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS 35

Introducción	36
Composición del ensamblaje	37
Estructura de ensambles	43
Índice BMWP/Col	46
Bioecología	59
Taxones más abundantes	60
Índice de Calidad Ecológica	61

MACRÓFITAS 75

Introducción	76
Composición del ensamblaje	77
Estructura de ensambles	79
Distribución de la cobertura	79
Bioecología	82
Taxones más representativos	83
índice de calidad ecológica	96



PECES

Introducción	100
Composición taxonómica del ensamble	101
Estructura del ensamble	103
Distribución de la abundancia de taxones	103
Distribución de la biomasa	106
Distribución por aparejo de pesca	108
Descripción y ecología	111
Orden Characiformes	111
Orden Siluriformes	113
Orden Cyprinodontiformes	114
Orden Perciforme	115
Orden Cichliformes	116
Orden Cypriniformes	116
Peces ICE	117

99

FICOPERIFITON

Introducción	130
Composición del ensamblaje	130
Estructura del ensamble	135
Distribución de la densidad	135
Bieología	138
Índice de calidad ecológica (ICE)	141

129

ÍNDICE PROMEDIO PONDERADO HIDROBIOLÓGICO

153

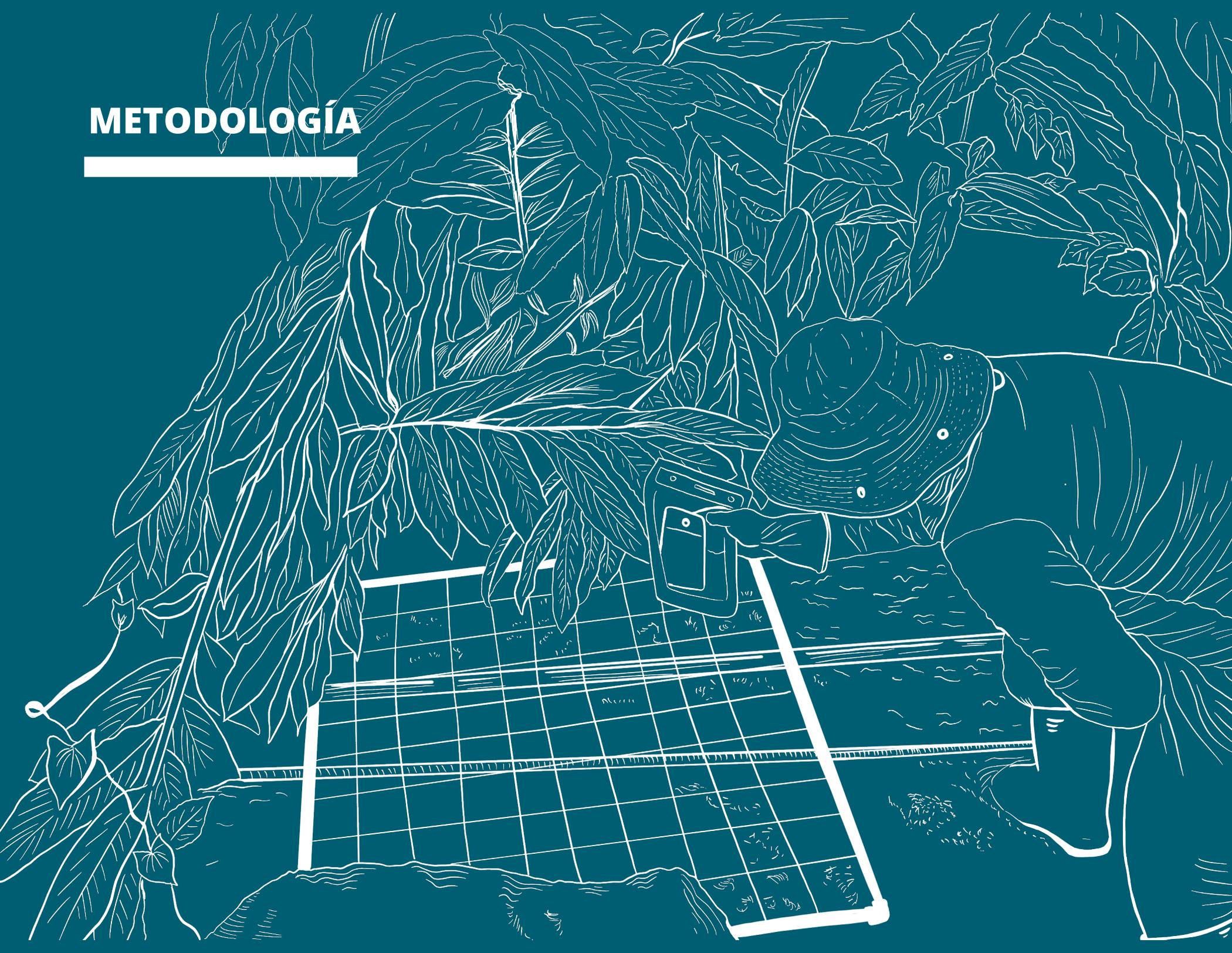
CONCLUSIONES

158

BIBLIOGRAFÍA

167

METODOLOGÍA



OBJETIVO

Determinar la calidad física química y biológica de la cuenca del río Negro y sus principales afluentes a partir del muestreo de 31 estaciones distribuidas estratégicamente mediante bioindicadores de calidad del agua.

ESPECÍFICOS

1 >

Caracterizar el río y los afluentes escogidos de acuerdo con la calidad ecológica y sanitaria obtenida con base en el tipo de muestreo propuesto.

Determinar la variación espacio-temporal y aplicar los índices ecológicos para las comunidades del ficoperifiton, macrófitas, macroinvertebrados y peces.

2

3 >

Ordenar, agrupar y asociar las estaciones, los tiempos de muestreo y las variables analizadas utilizando análisis estadístico multivariado apropiado.

Determinar los organismos indicadores de las condiciones encontradas mediante el establecimiento de relaciones de dependencia significativas entre las variables ambientales medidas y los organismos dominantes en cada sitio de muestreo.

4

5 >

Elaborar un Índice de Calidad Ecológica para la cuenca del Río Negro (ICE RN-MAE) que contemple la relación entre la variación de la abundancia de macroinvertebrados bentónicos, ficoperifiton, macrófitas y peces junto con los cambios en las variables físicas y químicas. Así mismo aplicar el índice promedio ponderado hidrobiológico (IPPH).

6

Comparar los resultados obtenidos con el estudio anterior, con el fin de determinar mejoras en las condiciones o retrocesos en la calidad del agua.

CUENCA DEL RÍO NEGRO



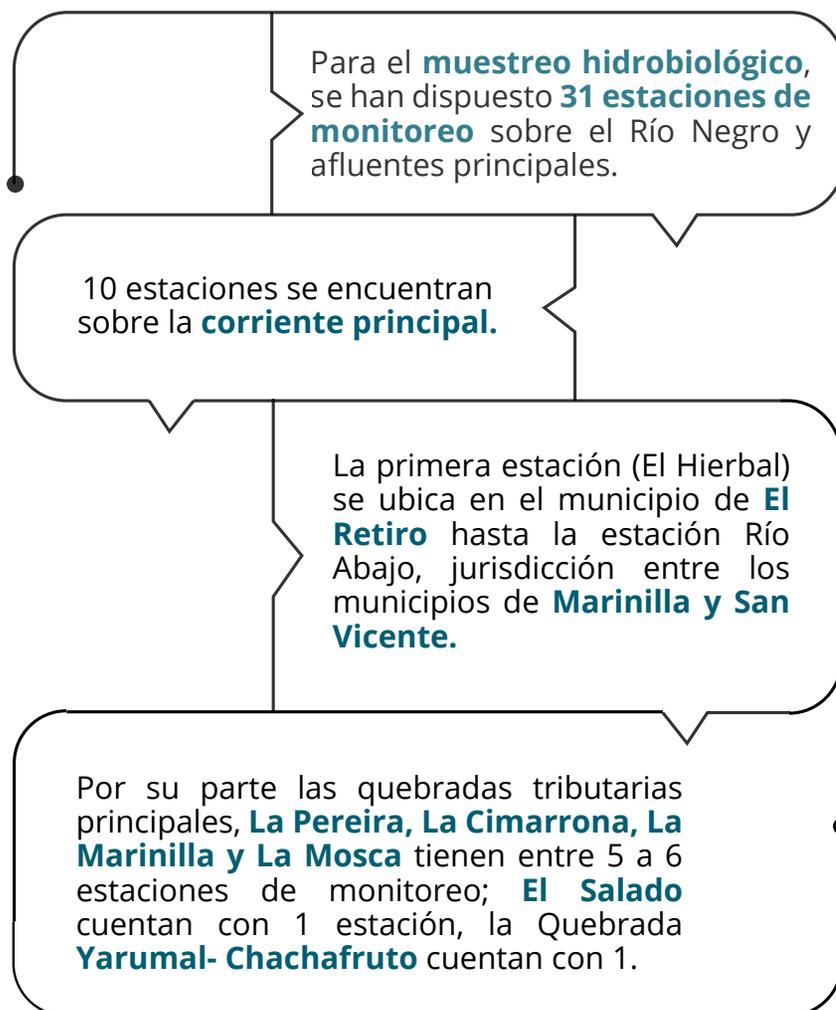
Está conformada por diez municipios: Envigado (jurisdicción de Corantioquia), El Retiro, La Ceja, Guarne, San Vicente, El Peñol, Rionegro, El Carmen de Viboral, Marinilla y El Santuario, que combinan diferentes dinámicas y en el tiempo han modificado el paisaje y la vocación de uso del suelo.

La cuenca del Río Negro tiene una extensión de 92.474 Has; de las cuales 89.011, es decir el 96.2% corresponden a la jurisdicción Cornare y las restantes 3.463 Has, que representan un 3,74% hacen parte de la jurisdicción de CORANTIOQUIA

ÁREA TOTAL
92.474 ha

CUENCA DEL RÍO NEGRO

Geográfica y topográficamente el área de la cuenca del río Negro está localizada en la vertiente oriental de la cordillera central;



El equipo de investigación definió las estaciones de muestreo de acuerdo con las ya establecidas por CORNARE para monitoreo fisicoquímico, teniendo en cuenta los estudios previos, estaciones limnigráficas y las condiciones hidrogeomorfológicas que favorezcan la toma de muestra, respuesta de actores claves al proyecto, condición de márgenes y lecho, entre otras. Con base en esta información se seleccionaron las estaciones de muestreo para el estudio de interés (Tabla 1). A continuación, se presenta las 31 estaciones de muestreo del Río Negro y afluentes monitoreadas en tres periodos hidrológicos en el mes de agosto de 2020 (transición a lluvias), noviembre de 2020 (época de lluvias) y febrero de 2021 (época seca).

Tabla 1

Estaciones de muestreo en el río Negro y afluentes

Nombre Fuente Hídrica	Municipio	Estación de muestreo	Código estación	Magna-Sirgas Geográficas		
				Coordenadas		Altura
				Oeste	Norte	m.s.n.m.
Río Negro	El Retiro	El Hierbal	E1	75°29'46.804"	6°4'50.053"	2147
	El Retiro	Montenevado	E2	75°28'33.280"	6°5'43.256"	2144
	Rionegro	Charco Manso	E3	75°25'50.985"	6°8'17.263"	2094
	Rionegro	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	75°23'34.646"	6°8'53.976"	2082
	Rionegro	Puente Real	E5	75°22'47.993"	6°8'36.686"	2083
	Rionegro	Puente Antes EBAR	E6	75°22'10.746"	6°9'9.495"	2075
	Rionegro	Después descarga PTAR Rionegro	E7	75°21'48.132	6°10'3.924"	2076
	Rionegro	Puente Autopista	E8	75°21'40.607"	6°10'43.016"	2072
	Rionegro	La Fresera	E9	75°20'3.792"	6°11'57.951"	2068
	San Vicente - Marinilla	Río Abajo	E10	75°17'42.847"	6°15'40.768"	1964
Quebrada La Pereira	La Ceja	Las Acacias	E11	75°25'41.840"	6°1'25.575"	2167
	La Ceja	San Sebastián	E12	75°25'5.545"	6°2'23.253"	2161
	La Ceja	Manzanares	E13	75°24'25.297"	6°2'38.235"	2158
	La Ceja	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	75°22'35,3"	6°7'34,81"	2097
	Rionegro	Casa Mia	E15	75°22'35.442"	6°8'32.904"	2087
Quebrada La Cimarrona	Carmen del Viboral	Puente Larga	E16	75°19'18.495"	6°4'5.589"	2156
	Carmen del Viboral	Flor silvestre	E17	75°19'53.377"	6°5'49.064"	2120
	Rionegro - Marinilla	Colte punto	E18	75°21'26.472"	6°10'8.349"	2107
	Rionegro - Marinilla	Puente Vía El Tranvía	E19	75°21'45.640"	6°10'25.023"	2078

Nombre Fuente Hídrica	Municipio	Estación de muestreo	Código estación	Magna-Sirgas Geográficas		
				Coordenadas		Altura
				Oeste	Norte	m.s.n.m.
Quebrada La Mosca	Guarne	Romeral	E20	75°27'34.490"	6°18'33.538"	2190
	Guarne	Puente Molino	E21	75°27'24.849"	6°18'16.417"	2172
	Guarne	Box Coulvert Km.26	E22	75°26'17.508"	6°15'55.571"	2128
	Guarne	Omya	E23	75°24'07.63"	6°13'35.00"	2100
	Rionegro	Riotex	E24	75°21'59.835"	6°10'52.155"	2085
Quebrada La Marinilla	El Santuario	La Amistad	E25	75°16'9.393"	6°8'11.856"	2151
	Marinilla	El Chagualo	E26	75°18'36.293"	6°9'11.680"	2124
	Marinilla	Puente La Feria	E27	75°20'21.462"	6°10'20.189"	2109
	Marinilla	Alcaravanes	E28	75°21'1.651"	6°11'7.183"	2109
Quebrada Yarumal	Rionegro	Puente Colegio Guillermo Gavi- ria	E29	75°27'18.52"	6°10'23.81"	2192
Quebrada Chachafruto	Rionegro	Las Delicias	E30	75°24'50.952"	6°9'6.379"	2144
Quebrada El Salado	San Vicente	Compañía Abajo	E31	75°19'32.357"	6°15'10.487"	2125

Fuente: Cornare,2021

Estaciones monitoreadas

En tres periodos hidrológicos contrastantes:



AGOSTO DE 2020
[Transición a lluvias]



NOVIEMBRE DE 2020
[Época de lluvias]



FEBRERO DE 2021
[Época seca]

Siguiendo el protocolo de evaluación física rápida

[Método empleado para evaluar las condiciones físicas de ríos y quebradas.]

El protocolo es un método independiente de evaluación física y morfológica, sin embargo, incluye además datos biológicos de las quebradas que son incluidas en el AUSRIVAS (Australian biological assessment) (Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D Snyder, 1999).

ITEMS EVALUADOS

Impactos locales sobre la corriente

Forma del valle

Anchura del plano de inundación

Los ítems evaluados

Grado de estabilidad del lecho

Compactación del lecho

Afloramiento de rocas del lecho

Medidas artificiales de protección de riberas

Composición de la zona riparia

Grado de perturbación total de la vegetación

Barreras físicas al paso local de los peces

Matriz de sedimentación, entre otros.

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS



El trabajo de campo en la colecta de los macroinvertebrados acuáticos presenta un reto en términos de la comparabilidad de las muestras. Esto hace referencia a que la implementación de diferentes técnicas de acuerdo con las características de los ecosistemas acuáticos puede llevar a que se presente un sesgo dado el esfuerzo de muestreo y la representatividad. En este sentido se debe de manera juiciosa combinar la técnica con el esfuerzo de muestreo que reduzca el error que proviene durante la toma de muestra. A continuación, se presentan dos métodos ampliamente utilizados y estandarizados a nivel nacional e internacional.

Para conocer los microhábitats existentes de cada estación de muestreo fue necesario realizar un recorrido visual del sector de la estación a estudiar. Posteriormente se realizaron batidas con las redes los microhábitats identificados en el sector. Incluye orillas con y sin vegetación, zonas de piedras, de arenas, grava, material vegetal en descomposición, zona de ficoperifiton, y en general todos los coriotopos como: arena, material vegetal en descomposición, grava, piedras, vegetación de orilla, vegetación sumergida, lodos, materia orgánica, perifiton, entre otros. Este procedimiento se aplicó de aguas abajo a aguas arriba, procurando vaciar frecuentemente el contenido de cada redada, en baldes cernidores con un ojo de malla no mayor de 300 micras.

En cada estación de muestreo se determinó el coriotopo dominante y su relación con la dominancia y diversidad biológica. Esto permitió conocer los taxones y bioindicadores predominantes. Las muestras se tomaron de la orilla al centro, cubriendo todos los sustratos, con un nivel de esfuerzo de 40 minutos por unidad (sujeto a la experiencia y habilidad del operador) y una distancia longitudinal del punto de 50 m cada lado.

Fase de campo

Método de la red rectangular: En un tramo de 100 m se realizó una inspección para determinar de manera cualitativa la cobertura y tipo de sustrato, así como las características del flujo. Se registró en valor porcentual la cobertura del sustrato (bloques, cantos rodados, gravas, arenas, sedimentos, macrófitas, materia orgánica gruesa o fina) y el tipo de flujo en la cual se encuentra (rápidos, remansos o corriente) (APHA, 2017; Barbour, Gerritsen, et al., 1999b).

Una vez definido lo anterior se precisa el esfuerzo de muestreo de acuerdo con la cobertura de los sustratos, el cual debe cubrir para ecosistemas en buen estado de conservación 1 m² e intervenidos 0,5 m². Esta área que es el esfuerzo de muestreo se fraccionó de la siguiente forma, el 50% debe realizarse en el sustrato dominante, 25% en el segundo y 15% en el tercero de mayor dominancia, y el restante 10% en la combinación de sustratos con baja representatividad (APHA, 2017; Barbour, Gerritsen, et al., 1999b; Cambra, H., Sánchez, P., Vicente, 2005).

Para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos en cada estación se utilizó una red triangular o D-net con malla de 300 μ m. Se realizó un total de 10 arrastres por estación de los hábitats más representativos, los cuales podían ser grava, piedras, piscinas, orillas con vegetación, vegetación en el cauce o macrófitas y sustrato lodoso. Para este efecto se hizo un recorrido de 50 m en cada quebrada a muestrear para identificar el porcentaje

ocupado por cada hábitat y se procedió a hacer los arrastres, empezando en la parte baja de la quebrada (figura 1, 2 y 3). Antes de proceder al siguiente arrastre se revisó y colectó en frascos plásticos todos los macroinvertebrados que queden en la red, los cuales fueron retirados con pinzas

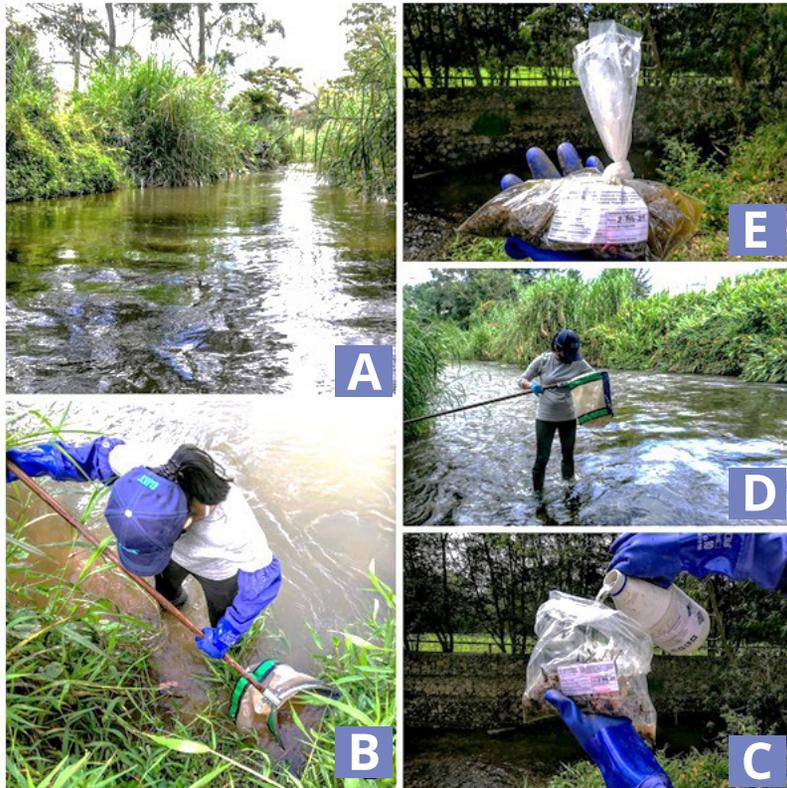


entomológicas. También con la ayuda de una pinza de punta fina se tomaron manualmente los organismos de los sustratos que dificultan la toma de muestras, como por ejemplo las paredes laterales de las piedras. Estos fueron fijados en alcohol y colocados en bolsas plásticas y/o frascos plásticos pequeños debidamente rotulados (APHA, 2017; Barbour, Gerritsen, et al., 1999b; Cambra, H., Sánchez, P., Vicente, 2005).

El material colectado se dispone en bandejas plásticas blancas para separar material orgánico e inorgánico de gran tamaño como rocas, hojarasca, palos y otros del cual se esté seguro de que no tiene organismos; esto se hizo con el fin de garantizar que durante el proceso del transporte de la muestra los organismos no sufrieron daños en sus estructuras físicas.

Todo el material colectado se conservó en bolsas plásticas con alcohol al 96% (APHA, 2017; Barbour et al., 1999) y previamente rotuladas con los siguientes datos: Fecha de muestreo, nombre, código del sitio y tipo de sustrato. Las muestras colectadas serán llevadas al laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia, donde se separarán e identificaron los organismos presentes. Estos organismos fueron fijados y conservados en alcohol al 70% en recipientes plásticos rotulados con el nombre del proyecto, nombre y código de la estación de muestreo, fecha, colector y jerarquía taxonómica. Los individuos fueron identificados, en lo posible, hasta el nivel de género.

La colecta de muestras en campo estuvo acompañada con un documento de descripción del sitio que incluya el tipo de sustrato presente, caudal, velocidad de la corriente, profundidad y entrada de luz hacia el cuerpo de agua, así como características físicas del sitio (Barbour, Gerritsen, et al., 1999b).



Fotografía 1

A, B y C Muestreo de macroinvertebrados acuáticos con red tipo D-net.

D Preservación y fijación de la muestra.

E Embalaje de la muestra

Fase de laboratorio

Se lavó el material con abundante agua sobre dos tamices; uno de 500 μm (primer tamiz) y 250 μm (segundo tamiz). Se inspeccionó que no quedara organismos atrapados en el material lavado. Los organismos observados y el material orgánico restante se llevaron a los recipientes pet de 30 ml (APHA, 2017; Barbour et al., 1999; Cambra, H., Sánchez, P., Vicente, 2005).

Posteriormente, se separó el cieno y el detrito de los organismos y se ubicó estos últimos en recipientes pet de 30 ml adicionándole alcohol al 70%. Por medio de un estereomicroscopio se identificó los taxa presentes en cada tramo de muestreo. Finalmente, se preservó dichos individuos en alcohol al 70% con la información correspondiente de colecta. Se tuvo en cuenta el número de morfo especie, la familia, el grupo taxonómico, el número total de individuos por especie, el número total de individuos por familia y el número total de individuos de la muestra. En la identificación taxonómica se utilizó material de referencia y claves taxonómicas como (Álvarez, 1983; Arango, 1983; Edmonson, 1959; Edmunds, 1976; Merrit, 1996; Pennak, 1978; Posada-G., 2003; Roldán-Pérez, 1988; Roldán, 1999).

FICOPERIFITON



Fase de campo

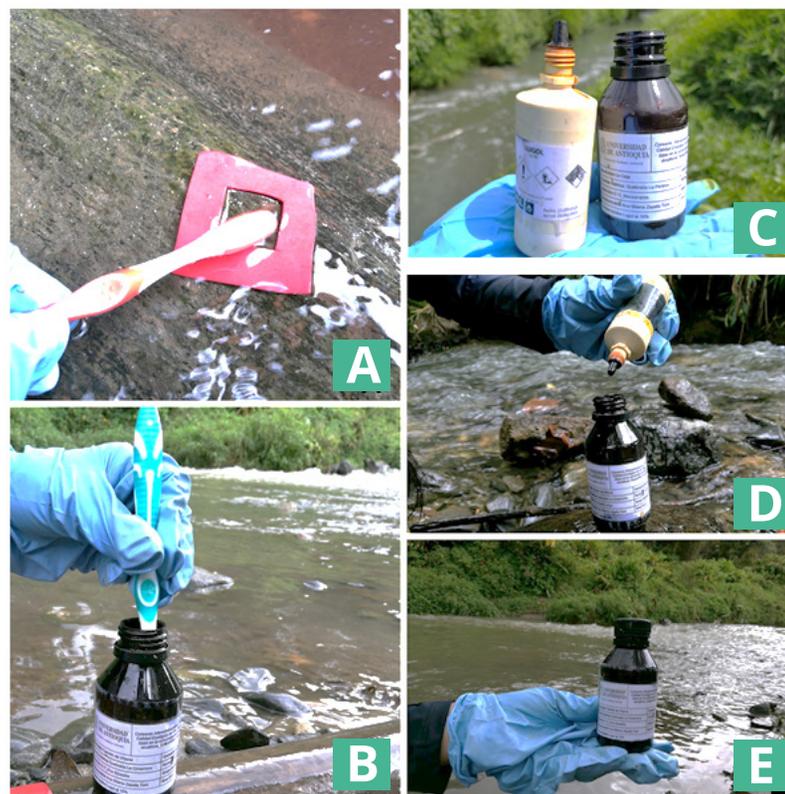
Selección de los hábitats y de los sustratos: Se seleccionó un tramo de aproximadamente 100m siguiendo una de las orillas, de preferencia zonas bien iluminadas y que tuvieron rápidos, pozos y remansos.

Dentro de este tramo se tomaron muestras en cada uno de los sustratos disponibles seleccionando 10 puntos de muestreo, considerando las zonas mencionadas. Como criterio general, fue recomendable muestrear superficies parduzcas resbaladizas situadas en zonas sumergidas del lecho: rocas, cantos rodados y troncos o partes de árboles. Se evitó tomar sustratos de zonas emergidas o que fueron de deposición reciente. Después de identificados los sustratos se procedió a cepillar la superficie hasta que todo el material que se encontraba adherido fue removido en su totalidad. Adicionalmente, se extrajo el material con cepillos de cerdas suaves utilizando un cuadrante de 9 cm², posteriormente se llevó el contenido del raspado en un recipiente de 150 mL previamente rotulado con la información de cada estación de muestreo. Se llenó hasta la mitad de su capacidad con agua embotellada y luego se preservó con 0,5 mL de lugol al 10% por cada 100 mL de muestra o hasta que se obtuvo una coloración miel. Se dejó el recipiente en oscuridad hasta posterior análisis en el laboratorio de hidrobiología sanitaria.

Para cada estación de muestreo se utilizó un cepillo diferente, en el caso que se realicen muestreos en el tiempo, se marcó cada cepillo con el código que identifica cada estación en la que fue utilizado. Después de cada campaña los cepillos se lavan con abundante agua, jabón e hipoclorito. La toma de muestras en campo estuvo acompañada por un documento que contiene la descripción del sitio e incluya el tipo de sustratos presentes, caudal, velocidad de la corriente, profundidad y entrada de luz hacia el cuerpo de agua, así como la notable presencia de aspectos de la calidad del agua, como olor, color y, apariencia de alta o baja descomposición de materia orgánica.

Fase de laboratorio

Previo al conteo se homogenizaron las muestras y se extrajo 1 ml de muestra, la cual fue depositada en una cámara de conteo. Las muestras se observaron en un microscopio invertido a una magnificación de 400 aumentos en 30 campos, siguiendo la metodología de campos al azar mediante una tabla de números aleatorios previamente preparada. Se tuvo en cuenta todos los organismos que se localizaron mediante un recorrido en zig-zag por el fondo de la cámara y a los organismos encontrados, que no fueron hallados en el conteo se les asignaron un valor de 1 para el cálculo de la densidad. Los resultados de abundancia se reportaron como densidad absoluta en ind/cm². Para la identificación taxonómica se utilizó las claves especializadas como: (Bicudo & Menezes, 2017), (Bourrelly, 1988), (Cox, 1996), (Komárek & Foot, 1983; Komárek J, 1989), (Prescott, 1962), (Round. et al., 1990) (Bourrelly, 1988).



Fotografía 2

- A, B** Muestreo del ficoperifiton con cuadrante y cepillo suave
- C** Preservación y fijación de la muestra
- D** Embalaje de la muestra. Campaña de monitoreo noviembre de 2020.

MACRÓFITAS

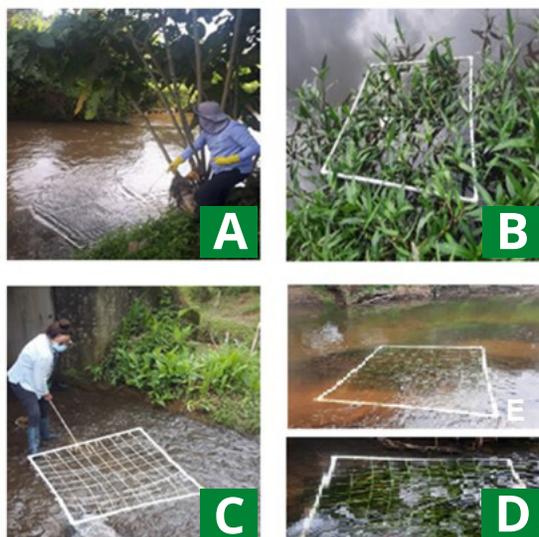


En caso de requerirse, dadas las características particulares de un cuerpo de agua específico, puede ser necesario el monitoreo y caracterización de macrófitas acuáticas. Las plantas acuáticas llamadas también macrófitas son aquellas que se desarrollan en ambientes acuáticos principalmente lénticos. Sin embargo, algunas de estas crecen asociadas a las riberas de las corrientes, las cuales son consideradas de condición semi-acuática. Entre otros aspectos, las plantas acuáticas tienen alguna relevancia al considerar que le dan estabilidad al terreno, que son utilizadas en la remoción de contaminantes y empleados como indicadores de la calidad del agua por contaminación orgánica (Arocena & Mazzeo, 1994; Hidalgo et al., 2005; Serna et al., 2012).

Fase de campo

Se desarrolló un periodo de muestreo de tres fases para cubrir los periodos de transición, lluvias y seco que correspondieron a los meses de agosto de 2020, noviembre de 2020 y febrero de 2021 respectivamente. Se estableció la composición de la comunidad de plantas acuáticas en las fuentes de agua (Rio Negro, Quebrada La Pereira, Quebrada La Cimarrona, Quebrada La Mosca, Quebrada La Marinilla, Quebrada Yarumal, Quebrada Chachafruto y Quebrada El Salado).

En cada una de las estaciones de monitoreo de las diferentes fuentes hídricas se ubicó un transecto de aproximadamente 100 m teniendo en cuenta la posibilidad de acceso y la presencia de vegetación acuática y anfibia, posteriormente se ubica el cuadrante de 1m x 1m que tiene 100 cuadrículas y cada una equivale al 1% (Fotografía 3). Este procedimiento se realiza para 5 cuadrantes por estación.



Fotografía 3

Muestreo semicuantitativo de plantas acuáticas en el río Negro y afluentes en tres campañas de muestreo.

A, B, C y D Muestreo con cuadrante de 1 m².

Posteriormente se toman ejemplares de las diferentes especies de plantas encontradas y que hacen parte de los cuadrantes y se fijan en alcohol al 70% y se rotulan para su posterior identificación en laboratorio (Fotografía 4).



Fotografía 4

Toma y conservación de las muestras de plantas acuáticas en el río Negro y afluentes en tres campañas de muestreo.

A Colecta de macrófitas

B Preservación y fijación de material colectado.

Fase de laboratorio

En laboratorio las muestras se fotografían de manera individual, evitando que pierdan su color y forma natural y detallando las diferentes estructuras como: raíz, hojas y flores, para tener elementos y a través de claves especializadas (Cook et al., 1974; Fassett, 2006; Posada García & López Muñoz, 2011) determinar cada ejemplar a su máximo nivel taxonómico. Igualmente, a través de las observaciones de campo y las fotografías detalladas de los cinco cuadrantes se establece el porcentaje de cobertura de cada especie. Para establecer la cobertura de cada especie por estación se promediaron las coberturas de los cinco cuadrantes y se sumaron para observar gráficamente las diferencias a nivel espacial y temporal.

El análisis de la dominancia de las especies por porcentaje estimado (cobertura %), se hizo teniendo en cuenta la composición florística, se utilizó un sistema jerárquico según las coberturas que incluye las siguientes categorías: gran formación o grupo (amplia distribución) con un porcentaje mayor o igual al 50%, formación o subgrupo (distribución más restringida) entre 20% y 45% y comunidad como unidad de menor rango menor al 20% (Cortés-castillo & Rangel-ch, 2015).

Para determinar asociaciones entre estaciones y muestreos respecto al porcentaje de cobertura y a la riqueza de especies, se realizó un análisis de clúster, utilizando el método Ward y la distancia euclidiana. Igualmente, a través del índice de calidad ecológica (ICE), la cobertura promedio de cada especie para cada morfotipo de plantas acuáticas se analizó con relación al comportamiento de las variables ambientales (físicas y químicas) del agua que fueron proporcionadas por CORNARE.

PECES



La metodología propuesta para la colecta, manipulación, preservación y análisis de peces se ajustan a las establecidas por el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, edición 23th (APHA, 2017) y las del protocolo “Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers” (Barbour, Gerritsen, et al., 1999b) propuesto por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA–siglas en inglés: United States Environmental Protection Agency). De igual forma, se tuvieron en cuenta los criterios descritos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2010), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

Fase previa: estaciones de muestreo

El término estación de muestreo se refiere a un sitio determinado dentro de un cuerpo de agua, en el cual se delimita un transecto de 100 metros lineales, para realizar las actividades de recolección de especímenes de los diferentes grupos taxonómicos (APHA, 2017). La definición de los 100 metros lineales de transecto en cada estación de muestreo se realiza teniendo en cuenta las características propias del sitio, procurando incluir diferentes tipos de hábitat (rápidos, pozas, aguas someras, aguas profundas, presencia o no de vegetación marginal y acuática, palizadas, entre otros) o intervenciones de origen antrópico (puentes, vías, estructuras hidráulicas).

Fase de Muestreo

Para la colecta de especímenes de la ictiofauna se emplearon técnicas como nasas, atarrayas y pesca eléctrica. En la medida de lo posible, cada arte de pesca fue usado de acuerdo con las características del sitio antes mencionadas. Cada individuo colectado temporalmente se ingresó en un acuario con aireadores para garantizar restablecer los organismos al medio natural con vida, rápidamente se tomaron sus datos de peso en gramos (g) con una gramera digital y posteriormente, los peces se les midió su longitud estándar (L. E) con un pie de rey, se realizó registro fotográfico y finalmente se liberaron.

Nasa y atarraya

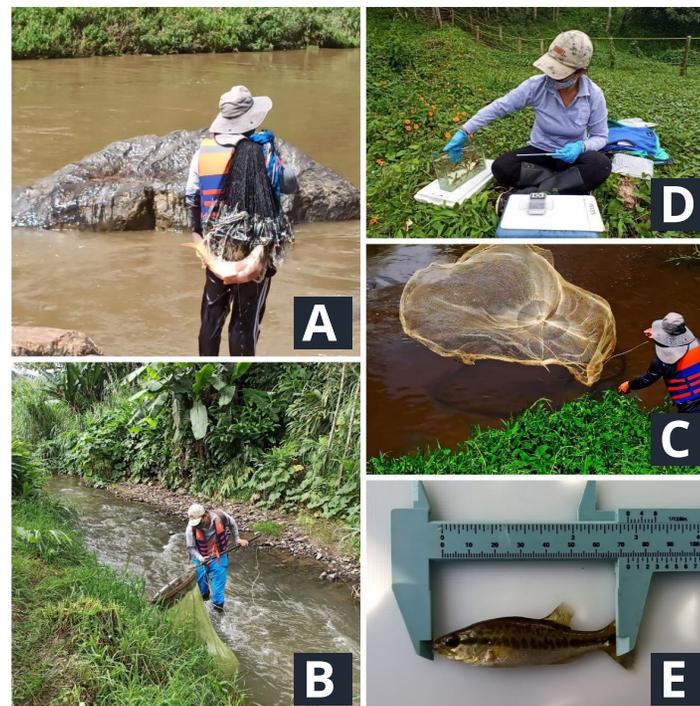
La nasa se utilizó para colectar especies de mediano y pequeño porte, las dimensiones de la red son 30 cm de diámetro y 1 mm de ojo de malla. Se realizaron 20 barridos por estación (1 estación equivale a un transecto de 100 m) en jornada diurna.

Para el uso de atarraya, se emplearon tres tipos (con ojo de malla de 1, 2 y 3 cm), con cada una se realizaron 30 lances de cada atarraya por estación (1 estación equivale a un transecto de 100 m) hasta completar un esfuerzo de 90 lances por estación de muestreo (de ser posible). Tabla 2.

Pesca eléctrica

Este método consiste en la creación de un campo eléctrico en una zona del medio acuático que modifica el comportamiento del pez existente y facilita su captura. Se conecta el cátodo (reja) al convertidor y se introduce en el agua (en un punto intermedio del tramo para limitar la fluctuación de la intensidad de la corriente). Seguido de esto se conecta la pértiga (el ánodo) al convertidor de corriente con un cable suficientemente largo para cubrir toda la longitud del tramo, luego se situarán los depósitos contenedores de los peces y el material necesario para tomar las medidas biométricas en un sitio llano y sombreado.

El técnico más experimentado conduce la pesca, es decir lleva la pértiga y va accionando ésta remontando el río (de arriba abajo); de este modo la turbidez provocada por el movimiento no afecta a la eficiencia de la pesca. Es conveniente moverse suavemente e ir barriendo con el ánodo todos los hábitats del ancho fluvial. Después de realizar el barrido, otro técnico o dos se sitúan detrás del portador de la pértiga con sacaderas, y se recogen los peces que aturridos por la electricidad son arrastrados por la corriente fluvial. Con la pesca eléctrica se realizaron dos barridos en contracorriente sobre cada una de las estaciones de muestreo definidas (Tabla 2). El esfuerzo de muestreo definido para la técnica fue de dos barridos por estación.



Fotografía 5

A, B y C Captura de fauna ictica con atarraya y electropesca

D y E Procesamiento de la información (talla y peso)

Tabla 2 Características principales de los métodos de colecta de peces (Barbour, Faulkner, et al., 1999).

Aparejo	Ojo de malla (cm)	Unidad y esfuerzo de muestreo			Transecto de muestreo (m)	Ambiente
		Unidad	Esfuerzo	Tiempo (horas)		
Nasa	0,1	Barrido	20	1	100	Lóticos y lénticos
Atarraya	1	Lance	30	1	100	Lóticos y lénticos
Atarraya	2	Lance	30	1	100	Lóticos y lénticos
Atarraya	3	Lance	30	1	100	Lóticos y lénticos
Pesca eléctrica		Barrido	2	1	100	Lóticos

Los individuos colectados, en la medida de lo posible, fueron devueltos a su medio natural, después de tomar fotografías y registrar los caracteres más distintivos (datos merísticos y morfométricos, así como coloración en cuerpo y aletas). Como complemento, se desarrollaron encuestas a los pobladores de la zona, sobre la riqueza íctica del área.

De ser estrictamente necesario se seleccionarán mínimo 2 ejemplares de una especie que en condiciones de campo sea difícil su identificación taxonómica y requiera de revisión de claves bajo la mirada al estéreo microscopio, siendo el caso; estos serán dispuestos en solución de clavo (0,8 ml eugenol/litro de agua) para sedarlos (Barbour, Gerritsen, et al., 1999a)

Con el fin de evitar descomposición y rigor mortis de los ejemplares, estos fueron fijados rápidamente, para la fijación fueron etiquetados y sumergidos en formol al 10% hasta su determinación en laboratorio de hidrobiología sanitaria. Adicionalmente, en el caso de los ejemplares grandes, fue necesario inyectar formol al 10% directamente en la cavidad visceral para permitir la penetración del fijador y facilitar la preservación de los órganos internos. Se almacenaron en bolsas plásticas resellables, debidamente rotuladas (nombre del proyecto, estación, fecha, hora, aparejo), que fueron transportadas en neveras de icopor para su posterior identificación en el laboratorio de hidrobiología sanitaria. Luego fueron lavados con agua para eliminar el exceso de formaldehído y se guardaron en una solución de alcohol al 70% para su preservación final.

Fase de laboratorio

En el laboratorio de hidrobiología sanitaria, los peces se lavaron con agua para eliminar el exceso de formol y luego se conservaron en una solución de alcohol al 70%. Para la determinación taxonómica se emplearon claves y descripciones (Dahl, 1971; Eigenmann, C., 1912, 1922; Eigenmann C., 1913; Maldonado-Ocampo et al., 2005; Miles, 1947). La validez de los géneros y especies, y la elaboración del listado se realizó siguiendo la clasificación taxonómica propuesta por (Reis, R., Kullander S., 2003). Posteriormente, los peces se midieron en su longitud estándar (L. E).

Análisis Estadístico

BMWP-Col

Para determinar la calidad del agua en las estaciones de estudio se aplicó el índice BMWP-Col propuesto por Roldán (2003). Este índice asignó a cada familia de macroinvertebrado un puntaje que va de 1 a 10 dependiendo de su tolerancia a la contaminación del agua. Aquellos organismos tolerantes reciben puntajes bajos mientras que aquellos más sensibles recibieron puntajes altos cercanos a 10. Al final fueron sumados todos los puntajes de las familias presentes en un punto de monitoreo y se obtuvo el valor final del BMWP-Col por estación.

En la siguiente tabla se relacionan los puntajes asignados a cada familia de macroinvertebrado según el índice BMWP-Col y en Tabla 3 se relaciona su significado.

Tabla 3 Puntajes según el índice BMWP-Col para cada familia de macroinvertebrado (Roldán, 2003).

Familias	Puntajes
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Bharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeraeidae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.</i>	3
<i>Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

Tabla 4 Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP-Col

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Significado	Color
I	Buena	>120	Aguas muy limpias	
		101-120	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

Índice de Calidad Ecológica (ICE)

El Índice de Calidad Ecológica se encuentra formulado con base en análisis multivariados, tomando como referencia los métodos descritos (Chalar et al., 2011; Forero L., M. Longo, 2014; Haase, R., & Nolte, 2008; Hart, 1994). El método incluye un sistema en el que la calidad ecológica se determina por un gradiente ambiental a través de un análisis de relación directa (análisis de redundancia canónica-RDA o análisis de correspondencia canónica-ACC), la identificación para cada taxón de rangos de tolerancia y valores óptimos en función de ese gradiente ambiental y ponderaciones de calidad para cada estación (Forero L., M. Longo, 2014).

El índice de calidad ecológica analiza la subordinación de la abundancia de grupos hidrobiológicos como peces, perifiton, vegetación acuática y macroinvertebrados con respecto a las variables ambientales. El método no se encuentra condicionado a un sistema ni a un grupo de organismos específico. La herramienta fundamental para su elaboración es el monitoreo biológico, un instrumento centrado en el uso de los atributos estructurales y/o funcionales de los individuos, las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas (Forero, 2012; Hart, 1994).

Este índice permite establecer cuantitativamente para los géneros, valores de tolerancia ante condiciones adversas; identificados de acuerdo con el análisis integrado de las variables ambientales locales junto con la composición y abundancia de los organismos. El método puede ser usado en otros grupos biológicos y zonas geográficas, posibilitando una adecuada evaluación local de los ecosistemas considerando la variabilidad climática, edáfica, geomorfológica y biológica que ocurre dentro de las regiones ecuatorial y tropical (Forero L., M. Longo, 2014).

El método empleado para la elaboración del índice de calidad ecológica (ICE) está basado en la propuesta de Chalar et al. (2011), la cual consiste en cinco pasos, a saber:

1. Correlaciones de Spearman entre las variables fisicoquímicas para eliminar variables redundantes.
2. Determinación de un gradiente ambiental desde un análisis lineal (análisis de redundancia sin tendencia, RDA por sus siglas en inglés) o uno unimodal (Análisis de Correlaciones Canónica, ACC), según sea el

caso, utilizando un programa estadístico que calcule estos análisis tal como CANOCO versión 4.6 o R (Ter Braak & Smilauer, 2002). Los datos son estandarizados previamente siguiendo el método propuesto por Guisande-González et al., (2006). Para explicar el gradiente ambiental se examinan, además, las correlaciones de Spearman entre las variables significantes y las no significantes en el ACC o RDA.

3. Estandarización de los puntajes de las estaciones (sample scores) obtenidos desde el primer eje del RDA o del ACC. Ésta consiste en re-dimensionar los datos a una nueva escala entre uno y diez utilizando una regresión lineal. La regresión es formulada desde los valores máximo y mínimo de los sample scores.

4. En el programa Análisis de Datos C2 (software libre <https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software.htm>) se obtendrán los puntajes óptimos y de tolerancia para cada taxón, a partir de un análisis de Promedios Ponderados (Weighted Averaging, WA) utilizando los datos re-escalados. Con estos puntajes se calcularán los valores del índice de estado ecológico por estación, con base en la fórmula propuesta por Haase y Nolte (2008).

5. Agrupamiento de las estaciones a partir de los valores del índice de estado ecológico junto con los datos de la variable fisicoquímica indicadora (p.e. fósforo total, Nitratos, entre otros). Con ello se obtendrán los rangos para establecer las categorías del índice. Para este análisis se empleará como método de agrupamiento los pares de grupos no ponderados aplicando la media aritmética (UPGMA, por sus siglas en inglés) y la distancia euclidiana.

El Índice ICE se ejecuta para cada campaña de monitoreo y comunidad (peces, macroinvertebrados acuáticos bentónicos, algas perifíticas y vegetación acuática). Hoy en día estas pruebas se encuentran dispuestas a la socialización con el fin de analizar sus potencialidades, alcances, pertinencia, validez, deficiencias y aspectos a mejorar. Es por esta razón que este proyecto aporta interesantes pruebas y resultados de comparación para apoyar el uso de este índice como estrategia de diagnóstico en aguas con objeto de ordenación por parte de las autoridades ambientales.

Cálculo de Promedio Ponderado hidrobiológico (IPPH)

El promedio ponderado hidrobiológico es la obtención de un único valor indicador basado en los valores de calidad hidrobiológica de cada una de las comunidades evaluadas en la cuenca priorizada. La ponderación de cada índice es requerida para darle un valor de importancia de acuerdo con las respuestas entre los factores bióticos y abióticos, esto se debe a que los organismos de cada una de las comunidades presentan respuestas distintas a las variables físico-químicas, de esta manera, se da más peso a los valores que mejor respuesta presenten a la calidad físico-química.

La metodología de cálculo se presenta en la ecuación 1, modificada del índice de saprobiedad de (Kolkwitz, 1909).

$$IPPH = \frac{\sum IHC * VP_{IHC}}{VP_{IHC}}$$

Donde:

IPPH = Índice promedio ponderado hidrobiológico

IHC = Índice hidrobiológico por comunidad

VP = Valor ponderado

Tabla 5 Puntajes e interpretación del índice hidrobiológico ponderado.

Valor	Interpretación	Color
>7,0 -<=10,0	Aguas muy limpias	Verde
>5,0 -<=7,0	Aguas ligeramente contaminadas	Azul
>3,0 -<=5,0	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
>1,0 -<=3,0	Aguas muy contaminadas	Naranja
<=1,0	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Para la aplicación del IPPH se estandarizaron los datos de los índices hidrobiológicos, teniendo en cuenta el método propuesto por Guisande - González et al. (2011), a través de la expresión:

$$X = (X - \text{Min}) / (\text{Max} - \text{Min})$$

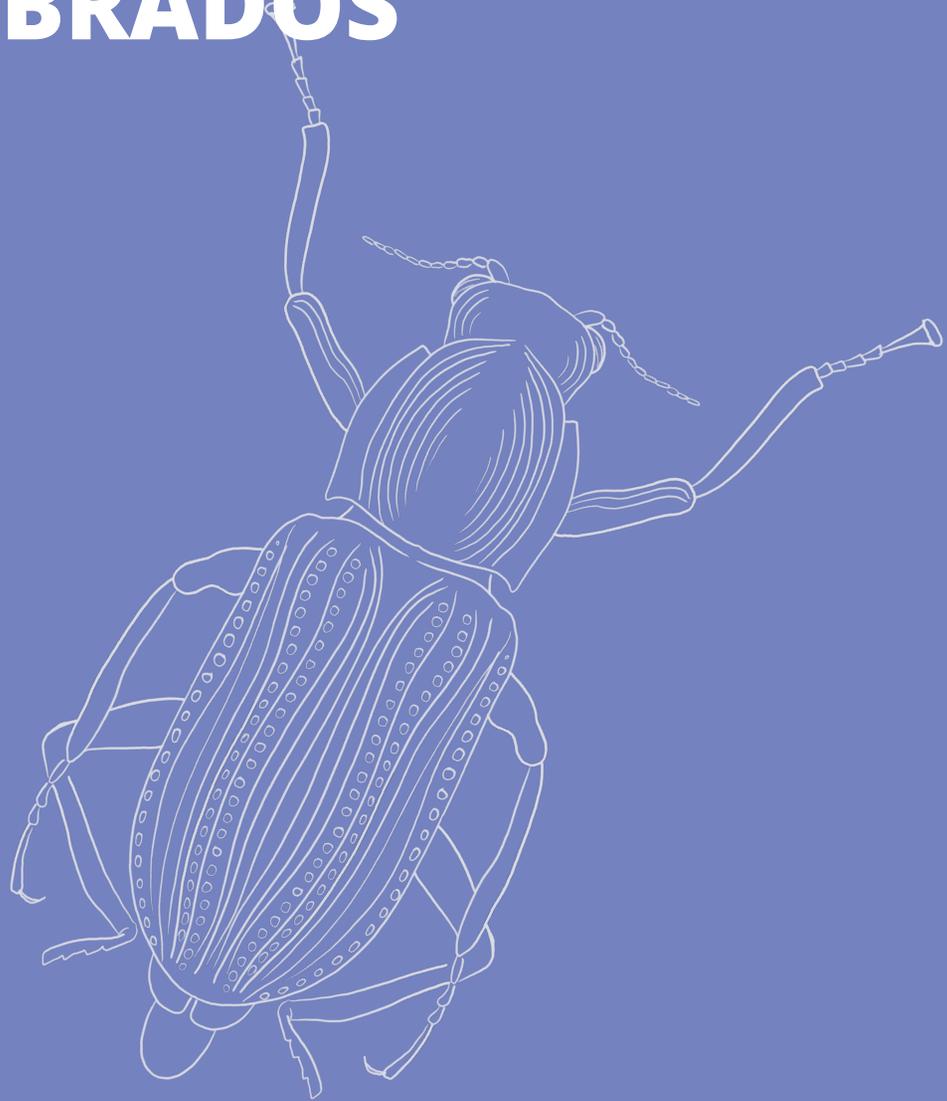
Donde VE es el valor estandarizado, Max y Min corresponden a los valores máximo y mínimo de cada variable. Con esta estandarización, los datos se llevan a un rango entre 0 y 1 sin perder la esencia de las distancias entre los registros. Además, los valores fueron llevados a un rango entre 1 y 10 de acuerdo con los valores propuestos para el IPPH. Posterior a la estandarización, se llevó a cabo el cálculo del índice de promedio ponderado hidrobiológico (IPPH), el cual representa un único valor basado en los valores de calidad hidrobiológica de cada una de las comunidades evaluadas (macroinvertebrados acuáticos, vegetación acuática, perifiton y peces), donde se tuvieron en cuenta los índices de calidad ecológica (ICE) para cada comunidad hidrobiológica y el BMWP.

Este promedio pretende darle una ponderación a cada índice de acuerdo con el ajuste en una regresión lineal entre el índice físico-químico (ICA) y cada índice hidrobiológico, en este caso de acuerdo con el coeficiente de determinación (R2) se toman los siguientes valores de ponderación.

Tabla 6 Valores de ponderación de acuerdo con el coeficiente de determinación

Coeficiente de determinación (R2)	Ponderación
0	0
>0,3	1
>0,3 - >0,6	2
>0,6	3

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS



Introducción

El desarrollo de actividades antrópicas cerca de las fuentes hídricas han realizado cambios en los hábitat naturales y como consecuencia se presenta una mayor pérdida de la diversidad en ambientes acuáticos, los cuales han recibido comparativamente poca atención, con respecto a lo documentado en los ecosistemas terrestres, particularmente para el grupo de los vertebrados, aun cuando la degradación física, química y biológica de los ambientes acuáticos es ampliamente reconocida como un problema mayor.

La estructura de la biodiversidad en los ecosistemas acuáticos alberga una variedad de especies, muchas de las cuales se están agotando debido a la degradación de sus hábitat con modificaciones de las condiciones fisicoquímicas, cuya consecuencia principal ha sido causa la desaparición o reducción de manera sustancial de algunas especies que conforman las comunidades bióticas o mucho más aun antes de ser descritas. Al presentarse esta pérdida de biodiversidad, las fuentes hídricas pierden su capacidad de recuperación y los servicios que prestan se ven amenazados tanto en su cantidad como en su calidad. Dentro de estas comunidades, se encuentran los macroinvertebrados bénticos, representados por un gran número de especies que realizan interacciones biológicas importantes e indicadores de la calidad hídrica de las fuentes.

Los macroinvertebrados acuáticos se consideran actualmente como los mejores bioindicadores de la calidad del agua, debido a su tamaño, a su amplia distribución y a su adaptación a diferentes variables fisicobióticas. En los últimos años el concepto de la calidad de las aguas ha ido cambiando de una orientación fisicoquímica a otra que integra todos los componentes del ecosistema. Se considera que un organismo es buen indicador de calidad de agua, cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es su-

perior al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (Roldán, 2001).

Sin embargo, no todos los organismos acuáticos podrán ser tomados como bioindicadores, ya que, las adaptaciones evolutivas a diferentes condiciones ambientales y límites de tolerancia a una determinada alteración dan las características a ciertos grupos que podrán ser considerados como organismos sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) por no soportar variaciones en la calidad del agua, mientras que organismos tolerantes (Chironómidae, Oligoquetos), son característicos de agua contaminada por materia orgánica (Roldán, 1999).

Cuando los parámetros son críticos los organismos sensibles mueren y su lugar es ocupado por los organismos tolerantes (Alba-Tercedor, 1988). De tal forma que los cambios de la estructura y composición de las comunidades bióticas puede ser utilizada para identificar y evaluar los grados de contaminación de un ecosistema acuático (Bersosa & Giacometti, 2006). Es por esta razón que las respuestas de las comunidades acuáticas a las perturbaciones ambientales son útiles para evaluar el impacto de los distintos tipos de contaminación, residuos municipales, agrícolas, mineros, industriales e impactos de otros usos del suelo sobre los cursos de aguas superficiales (Roldán, 1999).

En la actualidad, los macroinvertebrados acuáticos son considerados uno de los grupos con una amplia utilización en la bioindicación, se encuentran en los sustratos del fondo (sedimentos, detritus, madera muerta sumergida, micrófitos, algas filamentosas y otros) de hábitat dulceacuícolas, al menos durante la parte de su ciclo vital; considerándose específicamente como macroinvertebrados, aquellos organismos que por su tamaño pueden ser retenidos en mallas con coberturas desde 200 a 500 μm , tal como lo menciona Rosenberg y Resh (1993).

Composición del ensamblaje

Se muestran los resultados espacio-temporales del componente de macroinvertebrados acuáticos; producto de las tres campañas de muestreo en agosto 2020 (Transición a lluvias) diciembre 2020 (época de lluvias) y febrero 2021 (época seca). Se muestrearon 31 estaciones correspondientes a ocho fuentes de agua (río Negro, Quebradas: La Pereira, La Cimarrona, La Mosca, La Marinilla, Yarumal, Chachafruto y El Salado). En el informe se muestran los análisis por época y/o estación de muestreo según corresponda.

La composición taxonómica para las tres campañas de muestreo en las 31 estaciones, estuvo conformada por 34.487 individuos, pertenecientes en su mayor parte a los Phylum: Annelida, Arthropoda, Mollusca y Platyhelminthes; distribuidos en 19 órdenes, 56 familias y 89 taxa. El phylum Arthropoda concentro un 87.64% de la composición total, Mollusca presento una riqueza del 7.86%, Annelida apporto un 3.37% y el mas bajo aporte a nivel de riqueza lo reporto el phylum Platyhelminthe con un 1.12% (Tabla 7). Según los datos obtenidos se puede percibir, que las condiciones ecológicas del agua en este sistema hídrico,, presentan cierto grado de enriquecimiento de nutrientes, al encontrarse la presencia de Moluscos, Anélidos y Platelmintos.

Los artrópodos según Bar (2011), son el grupo más diverso y abundante de animales. Las 750.000 especies descritas representan más de tres veces el resto de especies animales juntas, y lo han logrado gracias a su gran diversidad adaptativa que les ha permitido colonizar diversos hábitats desde su aparición en el Precámbrico.

Los oligoquetos acuáticos se consideran uno de los grupos más importantes de los invertebrados presentes en lagos, ríos y embalses. Constituyen un eslabón importante en la cadena trófica bentónica, principalmente en aguas eutrofizadas y/o contaminadas, donde alcanzan

densidades muy elevadas y sirven de alimento para peces bentónicos, turbeláridos, sanguijuelas, nematodos y larvas de insectos (Brinkhurst, Chua, & Kaushik, 1972), (Aarefjord, Borgstrom, & Milbrink, 1973), (Kaster, 1989), (Schürch & Walter, 1978). Los organismos de la clase oligoqueta predominan en la parte bentónica de los ríos, lagos y embalses con un grado medio o porcentajes altos de eutrofización o contaminación orgánica.

Los miembros del Phylum Mollusca son unos de los invertebrados más notorios y conocidos para el ser humano. Estos constituyen el segundo de los Phylum más numerosos en especies, luego de los Artrópodos. Se estima la existencia de aproximadamente 120.000 especies en el mundo, con unos 35.000 fósiles. Desde el mar, los bivalvos y gasterópodos colonizaron ambientes salobres y dulceacuícolas; sólo los caracoles (gasterópodos) invadieron el medio terrestre. Los moluscos le han brindado al hombre una serie de beneficios, tales como alimento, herramientas, monedas, medicina, recurso de calcio, objetos culturales, comercialización e industrialización de perlas y nácar provenientes de bivalvos, etc. (Kay, 1995a). Además, se utilizan como indicadores biológicos de calidad de agua (p. ej.: *Physella cubensis* Pfeifer y *Stenophysa marmorata* Guilding) y en procesos de purificación (Hallawell, 1986).

Acompañando los Phylum Arthropoda, Mollusca y Annelida se encuentran los Platyhelminthes, este Phylum agrupa a los animales conocidos como gusanos planos o planarias. Son animales que carecen de cavidad del cuerpo, ano o sistema circulatorio, existiendo especies parasitas y especies libres. En los sistemas acuáticos se encuentra el subphylum Turbellaria, más conocido como planarias, turbeláridos o triclados. Son animales de cuerpo deprimido, muy plano (de ahí el nombre de planarias), sin segmentación aparente ni apéndices y una coloración variable desde el blanco lechoso hasta negro. Pueden tener ojos u ocelos y su boca se localiza en su parte ventral. En general huyen de la luz, por lo que se encuentran en la parte inferior de las piedras o los objetos sumergidos. Pueden vivir en todo tipo de aguas dulces, ambientes húmedos, incluso en aguas subterráneas siendo animales depredadores (Oscos, Galicia & Miranda, 2009).



Tabla 7 Composición taxonómica general de macroinvertebrados acuáticos registrados en Río Negro en 31 estaciones durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxones	C1	C2	C3	
Annelida	Hirudinea	Pharyngobdellida	Erpobdellidae	Erpobdellidae sp.	X	X	X	
		Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	Helobdella sp.	X	X	X	
	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	Tubifex sp.	X	X	X	
Arthropoda	Arachnida	Trombidiformes	Hidracarina	Hidracarina sp.	X			
	Crustacea	Amphipoda	Hyaellidae	Hyaella sp.	X	X		
		Isopoda	Oniscidea	Oniscidea sp.		X	X	
	Entognatha	Collembola	Isotomidae	Isotomidae sp.	X	X		
	Insecta	Coleoptera	Carabidae	Carabidae sp.	X			
			Chrysomelidae	Chrysomelidae sp1.			X	
			Chrysomelidae	Donacia sp.	X			
			Curculionidae	Curculionidae sp1.	X			
			Dytiscidae	Dytiscidae sp.	X	X	X	
				Thermonectus sp.			X	
			Elmidae	Austrolimnius sp.			X	
				Heterelmis sp.	X	X	X	
				Macrelmis sp.			X	
				Narpus sp.		X		
			Hydrophilidae	Enochrus sp.		X	X	
				Hydrophilidae sp1.	X			
				Tropisternus sp.	X			
			Scarabaeidae	Scarabaeidae sp1.	X			
				Scarabaeidae sp2.	X			
			Staphylinidae	Staphylinidae sp1.	X	X	X	
				Staphylinidae sp2.	X			
				Staphylinidae sp3.	X			
			Elmidae	Heterelmis sp.		X	X	
			Diptera	Chironomidae	Chironomidae sp.	X	X	X
				Culicidae	Culex sp.	X		X
					Culicidae sp.		X	

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxones	C1	C2	C3
Arthropoda	Insecta	Diptera	Dolichopodidae	<i>Aphrosylus sp.</i>	X	X	
			Empididae	<i>Chelifera sp.</i>	X		
				<i>Hemerodromia sp.</i>	X		
			Ephydriidae	<i>Ephydriidae sp.</i>		X	
			Limoniidae	<i>Limonia sp.</i>	X		X
				<i>Molophilus sp.</i>	X	X	X
			Muscidae	<i>Limnophora sp.</i>	X	X	X
				<i>Lispe sp.</i>	X	X	
			Psychodidae	<i>Clogmia sp.</i>	X	X	
				<i>Psychoda sp.</i>	X	X	X
				<i>Telmatoscopus sp.</i>			X
			Simuliidae	<i>Simulium sp.</i>	X	X	X
		Syrphidae	<i>Syrphidae sp.</i>		X		
		Tipulidae	<i>Tipula sp.</i>	X	X	X	
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetidae sp1.</i>	X	X	X
				<i>Baetidae sp2.</i>			X
				<i>Baetodes sp.</i>	X	X	X
				<i>Camelobaetidius sp.</i>	X	X	X
			Leptohyphidae	<i>Leptohyphes sp.</i>	X	X	
		Staphylinidae	<i>Stenus sp.</i>		X		
		Hemiptera	Gelastocoridae	<i>Nertha sp.</i>	X		
			Gerridae	<i>Limnogonus sp.</i>	X	X	
				<i>Trepobates sp.</i>	X	X	
			Mesoveliidae	<i>Mesovelia sp.</i>		X	
				<i>Mesoveliidae sp.</i>	X		
		Veliidae	<i>Rhagovelia sp.</i>	X	X	X	
		Lepidoptera	Crambidae	<i>Crambidae sp1.</i>		X	X
				<i>Crambidae sp2.</i>			X
				<i>Crambidae sp3.</i>		X	
				<i>Crambidae sp4.</i>	X		
<i>Paraponyx sp.</i>	X						
Odonata	Aeshnidae	<i>Aeshna sp.</i>	X				

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxones	C1	C2	C3
Arthropoda	Insecta	Odonata	<i>Calopterygidae</i>	<i>Hetaerina sp.</i>	X	X	X
			<i>Coenagrionidae</i>	<i>Argia sp.</i>	X		X
			<i>Gomphidae</i>	<i>Epigomphus sp.</i>			X
			<i>Libellulidae</i>	<i>Libellulidae sp.</i>		X	
				<i>Macrothemis sp.</i>		X	X
				<i>Perithemis sp.</i>			X
		<i>Sympetrum sp.</i>				X	
		Trichoptera	<i>Glossosomatidae</i>	<i>Mortoniella sp.</i>	X	X	X
			<i>Helicopsychidae</i>	<i>Helicopsyche sp.</i>	X	X	X
			<i>Hydrobiosidae</i>	<i>Atopsyche sp.</i>	X	X	X
	<i>Hydropsychidae</i>		<i>Leptonema sp.</i>	X	X	X	
			<i>Smicridea sp.</i>		X		
	<i>Hydroptilidae</i>		<i>Ochrotrichia sp.</i>	X			
<i>Leptoceridae</i>	<i>Nectopsyche sp.</i>		X	X	X		
Malacostraca	Isopoda	<i>Isopoda</i>	<i>Isopoda sp.</i>	X			
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	<i>Sphaeriidae</i>	<i>Sphaeriidae sp.</i>	X	X	X
	Gastropoda	Basommatophora	<i>Ancylidae</i>	<i>Ferrissia sp.</i>	X	X	X
			<i>Lymnaeidae</i>	<i>Lymnaea sp.</i>	X		
			<i>Physidae</i>	<i>Physa sp.</i>	X	X	X
			<i>Planorbidae</i>	<i>Biomphalaria sp.</i>	X	X	X
		Mesogastropoda	<i>Hydrobiidae</i>	<i>Hydrobiidae sp.</i>	X	X	X
		<i>Thiaridae</i>	<i>Thiaridae sp.</i>	X			
Platyhelminthes	Turbellaria	Dugesiidae	<i>Dugesia sp.</i>	X	X	X	

A nivel de clase, predominó la Insecta con 45% de los individuos colectados seguido de la clase *Gastropoda* con 34.92%, *Oligochaeta* con 11.36%, *Hirudinea* con 7.16%; las clases *Bivalva*, *Arachnida*, *Crusacea*, *Entognatha*, *Malacostraca* y *Turbellaria* aportando menos de 1% de la composición total.

Los insectos son la forma de vida animal más amplia de nuestro planeta, se encuentran en gran abundancia en cualquier tipo de hábitat. No existe otro grupo de animales que muestre dicha diversidad en estructura y hábitos (Pennak, 1978).

Los insectos acuáticos son un grupo diverso de organismos asociados a los cuerpos de agua dulce, los cuales incluyen humedales, ríos, y lagos, entre otros son considerados acuáticos, ya que llevan a cabo todos o partes de sus estadíos de desarrollo asociados a estos cuerpos de agua. Estos organismos son componentes importantes de los ecosistemas, donde cumplen una variedad de funciones en los procesos ecológicos (Ramírez & Rosas, 2006).

Algunos insectos acuáticos obtienen el oxígeno directamente de la atmósfera, y otros del disuelto del agua. Los primeros, tienen que frecuentemente subir a la superficie, y los segundos pueden permanecer indefinidamente sumergidos. Para capturar el oxígeno del aire poseen branquias traqueales de forma ramificada con muchas tráqueas, muy común en náyades de Odonata que son de forma de hoja. Otra estructura presente en algunos insectos acuáticos es el plastrón, formada por espinas hidrófugas, alrededor de los espiráculos, funcionando como una branquia, se encuentra especialmente en Hemiptera y Coleóptera, entre muchos otros insectos acuáticos. Quizás, esta también es una ventaja fisiológica adaptativa, que les permite tener una mayor diversificación y ocupación de nichos en los ecosistemas acuáticos continentales (Ramírez & Rosas, 2006).

Confirmando la tendencia taxonómica de predominancia en el Río Negro y sus afluentes, en el rango orden se destacó Díptera con el 41.28% de la composición total y una riqueza de 20 taxa; de igual manera *Basommatophora* con una riqueza de 4 taxa (3.22% de la composición total), *Haplotaxida* con una taxa (11.36% de la composición total), y *Pharyngobdellida* con una taxa (6.01% de la composición total). Por el contrario, los demás 15 órdenes reportados, fueron los que presentaron menor riqueza taxonómica al 2%.

Díptera es uno de los órdenes de insectos que posee mayor abundancia y riqueza taxonómica de representantes acuáticos, y se pueden encontrar tanto en sistemas lóticos como leníticos de variadas características. Por la gran complejidad de adaptaciones morfológicas y ecológicas en sus estados de inmadurez (cuando son de actividad acuática casi en su totalidad), presentan eficientes procesos fisiológicos que les permiten colonizar una amplia gama de ambientes dulceacuícolas, incluso con condiciones que resultan adversas para otros organismos acuáticos (Roldan, 2003).

Es importante mencionar que de las 89 taxa recolectadas, 30 no presentan identificación precisa. Principales problemas de identificación se presentan porque los organismos pierden algunas de sus estructuras que son determinantes para llegar hasta niveles taxonómicos más altos, esto pasa porque los organismos son muy delicados debido a la baja o ninguna esclerotización de sus cuerpos o exoesqueletos haciéndolos más susceptibles a los movimientos que se dan durante el muestreo y el transporte de las muestras.

Otro aspecto que limita la identificación de los organismos a nivel de género es el grado de estudio que presentan ciertos grupos y/o familias, entonces en general la información como claves taxonómicas disponibles es muy escasa para los géneros y para los estadíos Intermedios que sufren los macroinvertebrados en su ciclo de vida, como es el caso de las pupas.

A nivel de familia se observa la dominancia que tuvo Chironomidae y Physidae con (39.97% y 33.43%) lo que ratifica las elevadas concentraciones de materia orgánica disuelta en el ecosistema del Río Negro y sus afluentes, estas pertenecientes al orden *Díptera* y *Basommatophora*. Se aprecia la presencia de otras 52 familias, pero ya en menor proporción, en su mayoría, todas estas con precedencia a presentarse en ecosistemas con cierto grado de perturbación.

Cabe notar que los *Quironómidos* aparte de ser organismos cosmopolitas toleran mucho la contaminación especialmente si es de tipo orgánico, es por esta razón que su presencia en el ecosistema indica valores bajos de oxígeno y abundante materia orgánica (Raudez, 2003).

A nivel de orden y con base en la Figura 1 *Díptera* fue el orden mejor representado (con el 41.28% de la composición total), con una riqueza de 20 taxa; de igual manera *Basommatophora* con una riqueza de 4 taxa

(34.22% de la composición total), *Haplotaxida* con una taxa (11.36% de la composición total), y *Pharyngobdellida* con una taxa (6.01% de la composición total). Por el contrario, los demás 15 órdenes reportados, fueron los que presentaron menor riqueza taxonómica al 2% (Figura 1).

Las familias mejor representadas fueron *Baetidae* (*Ephemeroptera*), *Elmidae* (*Coleoptera*) y *Libellulidae* (*Odonata*) con cuatro taxa cada una. A su vez las taxa mejor representadas fueron *Chironimidae* (*Diptera*). Los reportes indican que la taxa *Chironomidae*, del orden *Characiformes* fue la que mayor aporte realizó al ensamble.

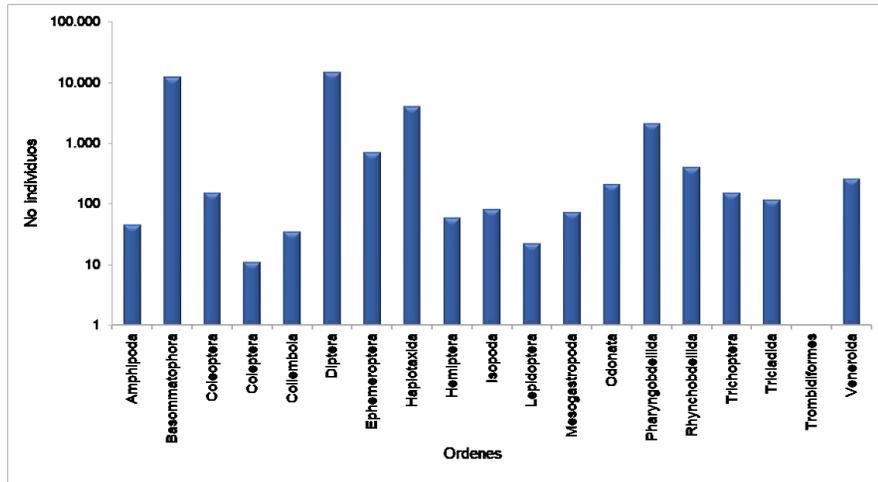


Figura 1 Distribución total de la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos registrados en Río Negro en 31 estaciones durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estructura de ensamblajes

Distribución de la abundancia

Con base en la abundancia los diecinueve órdenes taxonómicos registrados, estuvieron presentes en su mayoría en las tres campañas, excepto *Amphipoda* y *Collembola*, registrados en la campaña de muestreo 1 y 2; además de *Coleóptera* presente en la campaña 2 y 3, y por último el orden *Trombidiformes* que estuvo presente solo en la primera campaña de muestreo (Tabla 8).

En la primera campaña correspondiente al muestreo del septiembre de 2020, en términos de abundancia el ensamblaje lo dominó el orden *Diptera* con el 46.5%, seguido de *Haplotalaxida* con el 16.61%, *Basommatophora* 9.76%, *Pharyngobdellida* 5.83%, *Ephemeroptera* 2.74%, *Rhynchobdellida* 2.73%, entre otros órdenes como *Amphipoda*, *Coleoptera*, *Hemiptera*, *Isopoda*, *Lepidoptera*, *Mesogastropoda*, *Odonata*, *Trichoptera*, *Tricladida*, *Trombidiformes* y *Veneroida* aportaron menos del 2% de la abundancia total. En la segunda campaña en diciembre 2020, el ensamblaje lo dominó el orden *Basommatophora* con el 35.46%, seguido de *Diptera* con el 32.67%, *Haplotalaxida* 14.95%, *Pharyngobdellida* 9.65%, *Ephemeroptera* 2.41%, entre otros órdenes como *Amphipoda*, *Coleoptera*, *Collembola*, *Hemiptera*, *Isopoda*, *Lepidoptera*, *Mesogastropoda*, *Odonata*, *Trichoptera*, *Tricladida* *Veneroida* que aportaron un porcentaje de abundancia menor al 2%.

Finalmente, en la tercera campaña en febrero 2021, el ensamblaje se comportó similar a la campaña anterior, siendo *Basommatophora* el orden más dominante con el 50.36%, seguido de *Diptera* con el 39.72%, *Haplotalaxida* 4.50%, *Pharyngobdellida* 2.66%, entre otros órdenes como *Amphipoda*, *Coleoptera*, *Ephemeroptera*, *Hemiptera*, *Isopoda*, *Lepidoptera*,

Mesogastropoda, *Odonata*, *Trichoptera*, *Tricladida* *Veneroida* que aportaron menos del 2% de la abundancia. Es importante resaltar que el orden *Trombidiformes* solo se registró para la primera campaña de muestreo y el orden *Collembola* fue reportado en los dos primeros muestreos excepto para la tercera campaña.

Por otro lado, el promedio por campaña estuvo representado entre 279 y 4.266 individuos. Para la primera campaña la abundancia osciló entre 16 y 900 individuos, en la segunda campaña entre 405 y 71. Por último, para la tercera campaña la abundancia osciló entre 21 y 1.788 individuos, siendo esta campaña la que reportó mayor abundancia de macroinvertebrados acuáticos.

Las estaciones con mayor aporte al ensamblaje, para el primer muestreo fue Box Couvert Km.26 (E22) de la Quebrada La Mosca con 900 individuos, la taxa más representativa fue Chironomidae sp. con 836 individuos, para el segundo muestreo Manzanares (E13) de la Quebrada La Pereira con 1.266 individuos, la taxa más representativa fue Tubifex sp. con 1235 individuos y para la última campaña, Omya (E23) de la Quebrada La Mosca con 1788 individuos, la taxa más representativa fue Physa sp. con 1.756 individuos. Las estaciones con menor aporte a nivel de abundancias al ensamblaje, para la primera campaña fue Puente Real (E5) de Río Negro con 26 individuos, para el segundo y tercer muestreo Puente Colegio Guillermo Gavidia (E29) de la Quebrada Quebrada Yarumal con 15 y 21 individuos respectivamente (Tabla 8).



Tabla 8. Distribución total de la abundancia de macroinvertebrados acuáticos registrados por estación en Río Negro durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Fuente Hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3
Río Negro	El Hierbal	E1	275	202	167
	Montenevado	E2	93	323	261
	Charco Manso	E3	81	118	171
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	212	109	856
	Puente Real	E5	26	282	266
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	67	176	253
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	582	272	285
	Puente Autopista	E8	293	406	70
	La Fresera	E9	708	254	114
	Río Abajo	E10	220	267	1689
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	238	157	221
	San Sebastián	E12	303	270	1007
	Manzanares	E13	216	1266	27
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	206	42	160
	Casa Mia	E15	211	411	375
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	48	187	88
	Flor silvestre	E17	427	1021	222
	Colte punto	E18	188	230	74
	Puente Vía El Tranvía	E19	282	986	219
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	203	170	119
	Puente Molino	E21	180	303	494
	Box Couvert Km.26	E22	900	865	755
	Omya	E23	452	986	1788
	Ríotex	E24	664	511	191
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	333	671	180
	El Chagualo	E26	108	382	1046
	Puente La Feria	E27	166	917	1320
	Alcaravanes	E28	371	294	26
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	62	15	21
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	334	268	648

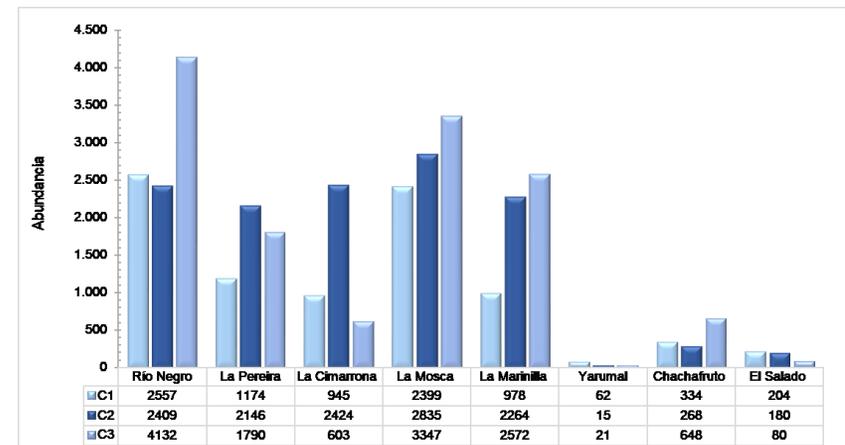
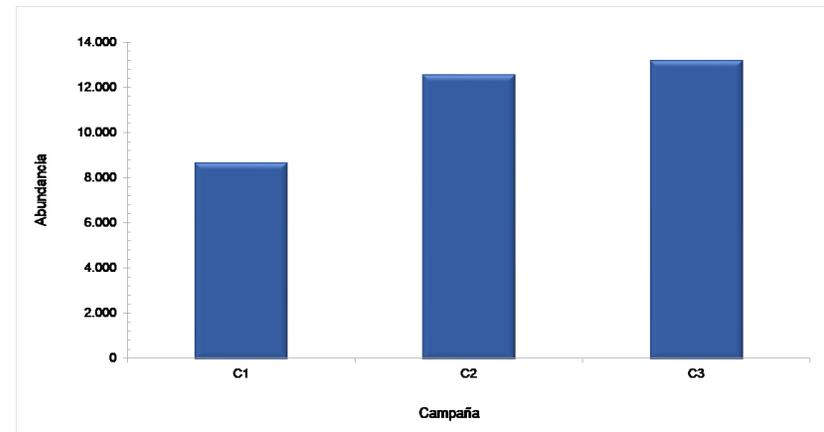
Fuente Hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	204	180	80
Total, abundancia			8653	12541	13.193
Promedio			279	405	426
Mínimo			26	15	21
Máximo			900	1266	1788
Desviación estándar			204.53	330.97	484.02
CV (%)			73.28	81.81	113.73

Con base en la Figura 2, para la primera campaña de muestreo (C1) se registró un total de 8.653 individuos, para la segunda campaña (C2) se presentó un aumento significativo de un 31.01%, registrando así un total de 12.541 individuos y para el tercer muestreo (C3) se presentó un aumento del 4.95%, para un total de 13.193. Es importante mencionar que el número de individuos aumento a medida que se avanzaba en las campañas de muestreo, con base en la época seca; la última campaña de muestreo registró el mayor número de individuos debido posiblemente al bajo nivel ecológico y concentración de nutrientes.

La abundancia por fuente hídrica, se tiene que el Río Negro, las quebradas La Mosca y La Marinilla, fueron las que mayor aporte realizaron durante tres campañas de muestreo. Río Negro aportó un total de 9.098 individuos, 26.45% de la composición total, oscilaron entre 26 y 1689 individuos. La quebrada La Mosca registro un total de 8.581 individuos, 24.95% de la composición total oscilaron entre 119 y 1.788 individuos. La quebrada La Marinilla obtuvo un total de 5.814 individuos aportó 264 individuos, 16.90% de la composición total, oscilaron entre 26 y 1.320 individuos (Figura 3).

Figura 2 Distribución total de la abundancia de macroinvertebrados acuáticos registrados por estación en Río Negro durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Figura 3 Distribución total de la abundancia de macroinvertebrados acuáticos registrados por estación en Río Negro durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).



Índice BMWP/Col

Para determinar la calidad del agua a partir de la información de las familias encontradas en las estaciones, en las tres campañas de muestreo, se calculó el índice BMWP adaptado para Colombia - BMWP/Col (Roldan, 2003), para cada una de las estaciones del área de influencia del proyecto. Dicho método consiste en calificar a cada familia de macroinvertebrados asignándole un valor de 1 a 10 de acuerdo con el grado de sensibilidad a la contaminación, siendo las familias con calor 1 las que toleran las condiciones más malas de calidad del agua. De acuerdo con el puntaje obtenido para cada grupo, se calificó la calidad del agua y su significado ecológico.

Índice BMWP/Col Río Negro

En la Tabla 9 y Figura 4 se muestran los valores del índice BMWP para 10 estaciones del Río Negro, durante tres campañas de muestreo, además de la interpretación de la calidad biológica del agua para cada uno de éstos. Se encontró que la estación E1 y E3, en las tres campañas presentaron aguas ligeramente contaminadas, con una calidad aceptable; estas fuentes, aunque tienen un impacto antrópico, se caracterizan por presentar vegetación variada y abundante en sus orillas, variedad de sustratos, que le permite a las comunidades de macroinvertebrados poder vivir y mantenerse en el tiempo, además de también registrarse en estas estaciones y periodos de muestreo la presencia del orden Odonata y Ephemeroptera. La estación E2 en la primera campaña de muestreo presento una calidad de agua muy contaminada, critica, con un puntaje de 23, a diferencia de la segunda y tercera campaña, en las que se registraron aguas ligeramente contaminadas, con una calidad aceptable, puntajes de 82 y 91 respectivamente, durante la primera campaña se registró una baja diversidad, la cual aumento en los dos siguientes muestreos.

La estación E4 en el primer muestreo, registro aguas ligeramente contaminadas, con una calidad aceptable (puntaje de 72), en las dos siguientes campañas esta calidad de agua disminuyo, presentándose agua muy contaminada (29) y moderadamente contaminada (53), respectivamente. Durante los tres periodos de muestreo, las estaciones E5, E6, E7, E8 y E10 presentaron una calidad de aguas moderadamente contaminadas (Dudosa) a aguas muy contaminadas (Critica). La estación E9, en todos los

muestreos registró bajos puntajes (9,12 y 13) índice de aguas fuertemente contaminadas, los bajos puntajes y calidad de agua, puede ser debido a la baja diversidad y a la presencia en abundancia de ordenes, presentes en hábitats con cierto grado de enriquecimiento con materia orgánica disuelta, como lo es Díptera, entre otros.



E1 - El Hierbal



E2 - Montenevado



E3 - Charco Manso



E4 - Bocatoma Rionegro



E5 - Puente Real



E6 - Puente antes EBAR



E7 - Después descarga PTARD



E8 - Puente Autopista



E9 - La Fresera



E10 - Río Abajo

Tabla 9. Clase, calidad biológica y significado de bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones del Río Negro. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estación	Código	C1				C2				C3			
		Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua
El Hierbal	E1	62	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde	91	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde	69	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
Montenevado	E2	23	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	82	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde	91	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
Charco Manso	E3	82	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde	81	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde	62	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
Bocotoma Rionegro	E4	72	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde	29	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	53	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
Puente Real	E5	38	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo	21	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	24	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
Puente antes EBAR	E6	36	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo	29	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	17	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
Después descarga PTARD	E7	19	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	26	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	16	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
Puente Autopista	E8	19	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	18	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	18	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
La Fresera	E9	9	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo	12	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo	13	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo
Río abajo	E10	26	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja	42	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo	31	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja

La estación E4 en el primer muestreo, registró aguas ligeramente contaminadas, con una calidad aceptable (puntaje de 72), en las dos siguientes campañas esta calidad de agua disminuyó, presentándose agua muy contaminada (29) y moderadamente contaminada (53), respectivamente. Durante los tres periodos de muestreo, las estaciones E5, E6, E7, E8 y E10 presentaron una calidad de aguas moderadamente contaminadas (Dudosa) a aguas muy contaminadas (Crítica). La estación E9, en todos los muestreos registró bajos puntajes (9, 12 y 13) índice de aguas fuertemente contaminadas, los bajos puntajes y calidad de agua, puede ser debido a la baja diversidad y a la presencia en abundancia de ordenes, presentes en hábitats con cierto grado de enriquecimiento con materia orgánica disuelta, como lo es Díptera, entre otros.

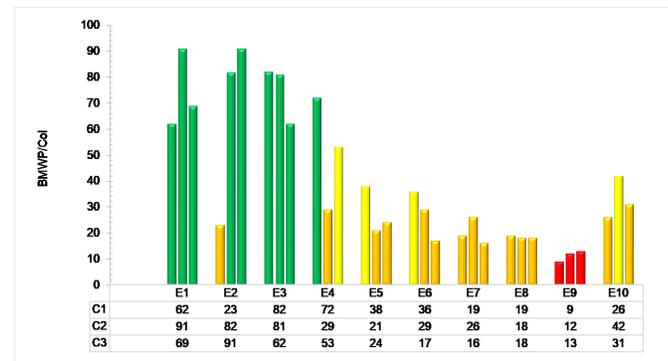
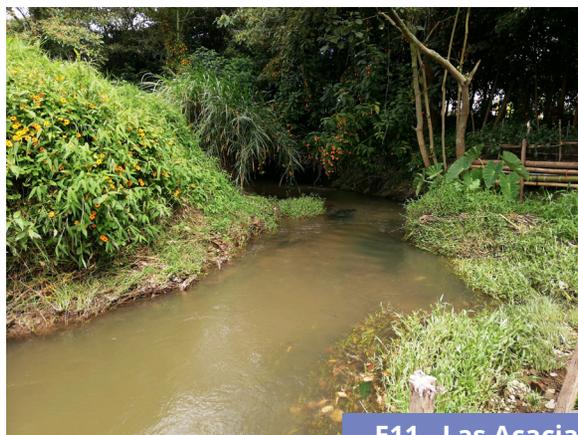


Figura 4. Bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones del Río Negro. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

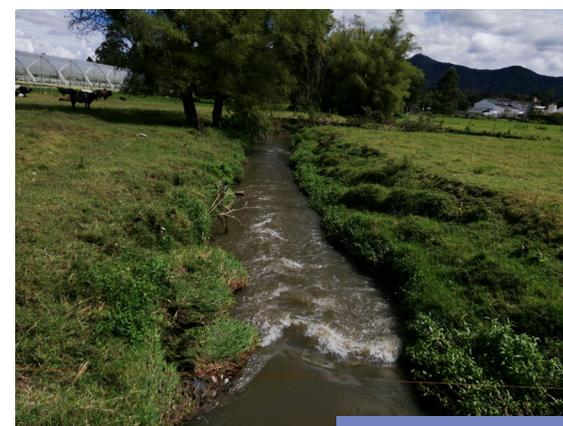
Índice BMWP/Col Quebrada La Pereira



E11 - Las Acacias



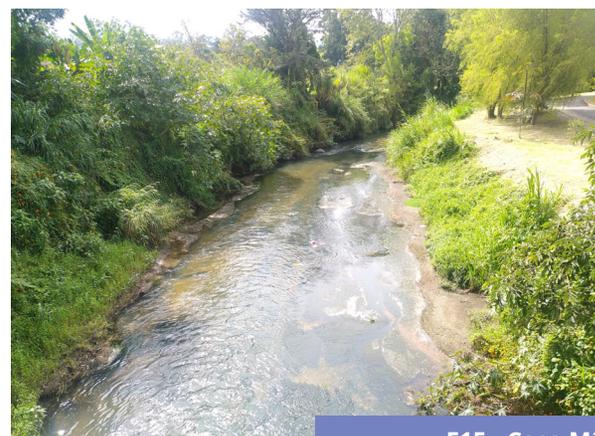
E12 - San Sebastián



E13 - Manzanares



E14 - Bocatoma inactiva



E15 - Casa Mía

En la Tabla 10 y Figura 5 se muestran los valores del índice BMWP para 5 estaciones de la Quebrada La Pereira, durante tres campañas de muestreo, además de la interpretación de la calidad biológica del agua para cada uno de éstos. Se encontró que la estación E11, en la primera campaña presento aguas ligeramente contaminadas (63), con una calidad aceptable; a diferencia de los dos siguientes muestreos, en los que se registraron aguas moderadamente contaminadas con puntajes de 37 y 39 respectivamente, el cambio en la calidad del agua puede ser debido a la disminución la diversidad y además presentarse la dominancia de familias con bajo puntaje. En las tres campañas de muestreo las estaciones E12, E13, E14 y E15 registraron puntajes bajos entre el rango de 8-41, con calidad de agua dudosa, crítica y muy crítica, indicador de alta contaminación.

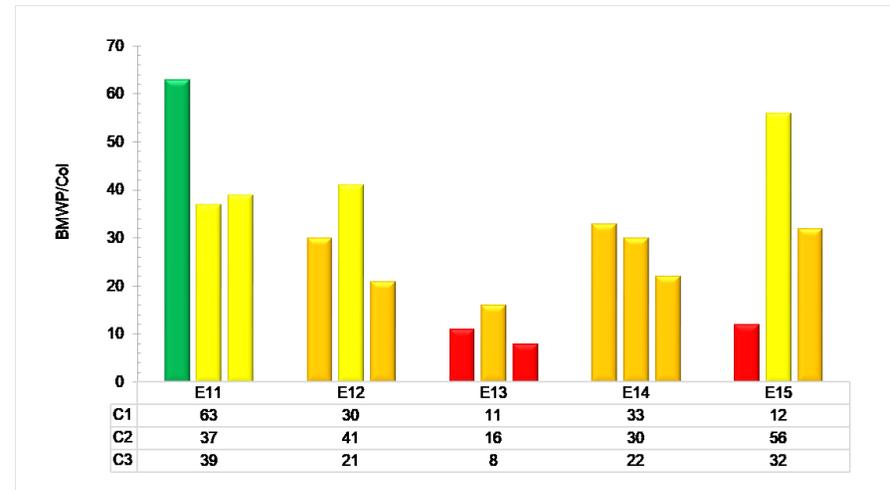


Figura 5. Bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada La Pereira. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Tabla 10 Clase, calidad biológica y significado de bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada La Pereira. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estación	Código	C1				C2				C3			
		Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua
Las Acacias	E11	63	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	37	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	39	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas			
San Sebastián	E12	30	Crítica	Aguas muy contaminadas	41	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	21	Crítica	Aguas muy contaminadas			
Manzanares	E13	11	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	16	Crítica	Aguas muy contaminadas	8	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas			
Bocotoma Inactiva	E14	33	Crítica	Aguas muy contaminadas	30	Crítica	Aguas muy contaminadas	22	Crítica	Aguas muy contaminadas			
Casa Mía	E15	12	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	56	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	32	Crítica	Aguas muy contaminadas			

Índice BMWP/Col Quebrada La Cimarrona



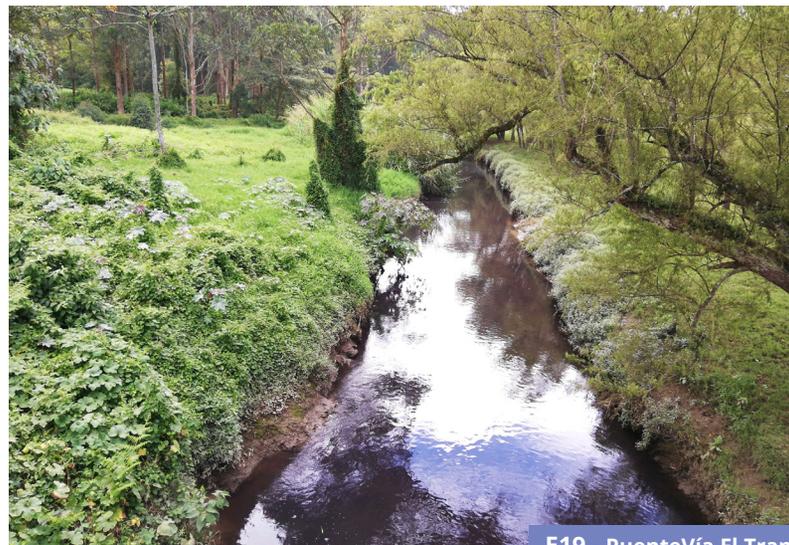
E16 - Puente Larga



E17 - Flor Silvestre



E18 - Coltepunto



E19 - PuenteVía El Tranvía

En la Tabla 11 y Figura 6 se muestran los valores del índice BMWP para 4 estaciones de la quebrada La Cimarrona, durante tres campañas de muestreo, además de la interpretación de la calidad biológica del agua para cada uno de éstos. Se encontró que las estaciones presentes, registran calidad de agua dudosa, crítica y muy crítica; con puntajes entre 8-56, significado de aguas moderadamente, muy y fuertemente contaminadas. La baja puntuación registrada posiblemente es debido a la baja diversidad registrada y a la abundancia a de las taxa Chironomidae sp. y Physa sp.

Tabla 11. Clase, calidad biológica y significado de bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada La Cimarrona. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estación	Código	C1				C2				C3			
		Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua
Puente Larga	E16	26	Crítica	Aguas muy contaminadas		24	Crítica	Aguas muy contaminadas		29	Crítica	Aguas muy contaminadas	
Flor Silvestre	E17	16	Crítica	Aguas muy contaminadas		20	Crítica	Aguas muy contaminadas		9	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	
Colte punto	E18	56	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas		18	Crítica	Aguas muy contaminadas		13	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	
Puente Vía El Tranvía	E19	8	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas		11	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas		8	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	

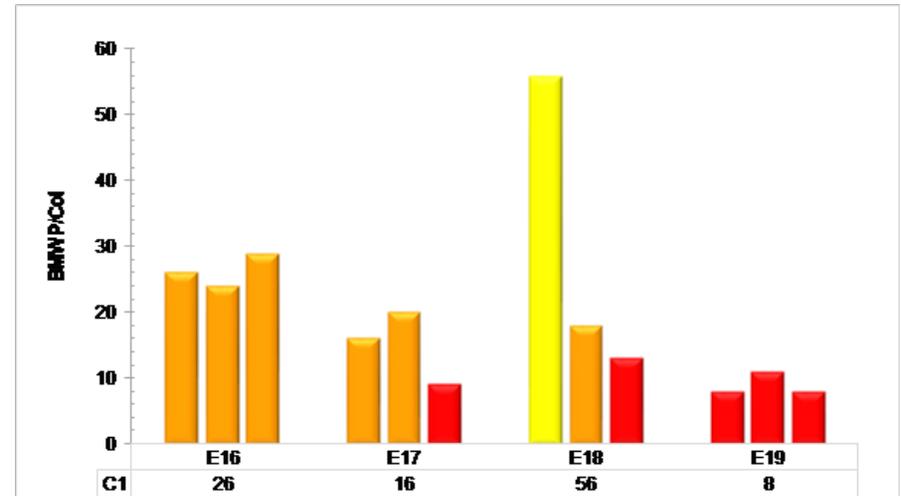
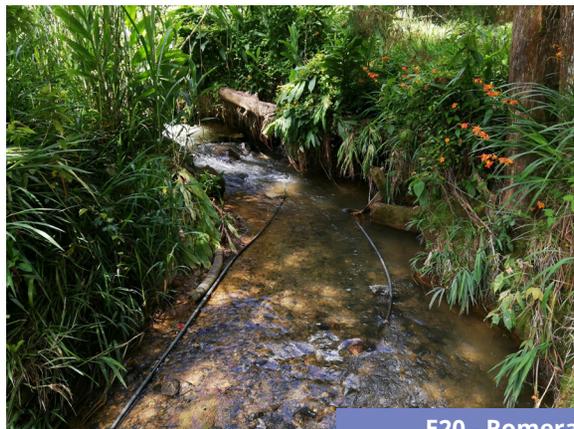
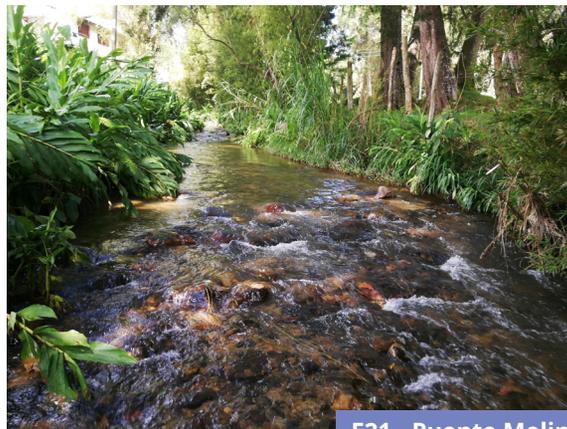


Figura 6. Bio-indicación del índice BMWP/Col de la Quebrada La Cimarrona. Durante tres campañas de muestreo

Índice BMWP/Col Quebrada La Mosca



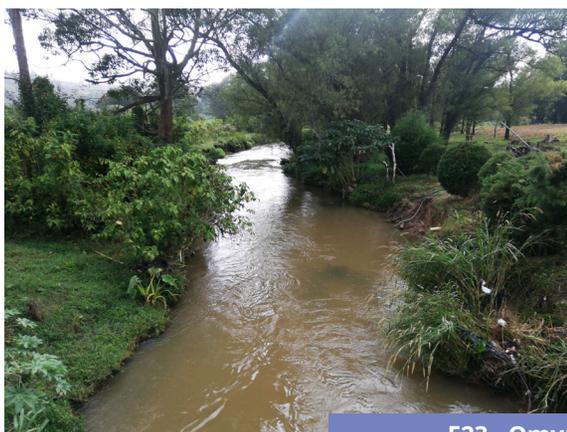
E20 - Romeral



E21 - Puente Molino



E22 - Box Coul-vert Km 26



E23 - Omya



E24 - Ríotex

En la Tabla 12 y Figura 7 se muestran los valores del índice BMWP para 5 estaciones de la quebrada La Mosca, durante tres campañas de muestreo, además de la interpretación de la calidad biológica del agua para cada uno de éstos. Se encontró que la estación E20 y E21, en la primera campaña de muestreo presentaron aguas no contaminadas, con una calidad buena, con puntajes de 113 y 102 respectivamente; ambas estaciones para las siguientes campañas de muestreo registraron aguas ligeramente contaminadas y aguas moderadamente contaminadas con puntajes entre 49 y 77. Las estaciones E22, E23 y E24, durante los tres periodos de muestreo, presentaron una calidad de aguas moderadamente contaminadas (Dudosa) a aguas muy contaminadas (Crítica) y aguas fuertemente contaminadas (muy crítica), con puntuaciones entre 8 y 20, cabe mencionar, que para el tercer periodo de muestreo, se obtuvo en las estaciones mencionadas, calidad de agua fuertemente contaminadas, debido a la abundante presencia de familias con baja puntuación y a la baja riqueza de taxa.

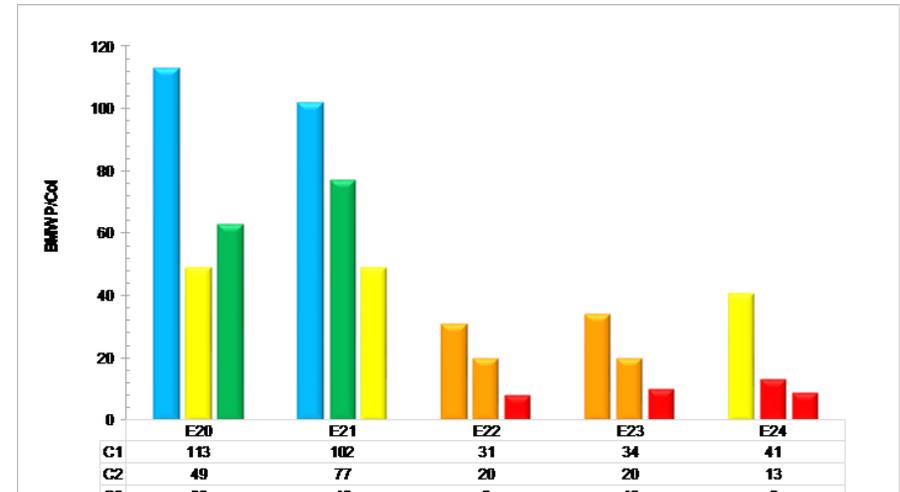


Figura 7 Bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada La Mosca. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Tabla 12 Clase, calidad biológica y significado de bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada La Mosca. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estación	Código	C1				C2				C3			
		Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua
Romeral	E20	113	Buena	Aguas no contaminadas	Buena	49	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Dudosa	63	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Dudosa
Puente Molino	E21	102	Buena	Aguas no contaminadas	Buena	77	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Buena	49	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Dudosa
Box Coulvert Km 26	E22	31	Crítica	Aguas muy contaminadas	Dudosa	20	Crítica	Aguas muy contaminadas	Dudosa	8	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Crítica
Omya	E23	34	Crítica	Aguas muy contaminadas	Dudosa	20	Crítica	Aguas muy contaminadas	Dudosa	10	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Crítica
Ríotex	E24	41	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Dudosa	13	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Crítica	9	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Crítica

Índice BMWP/Col Quebrada La Marinilla



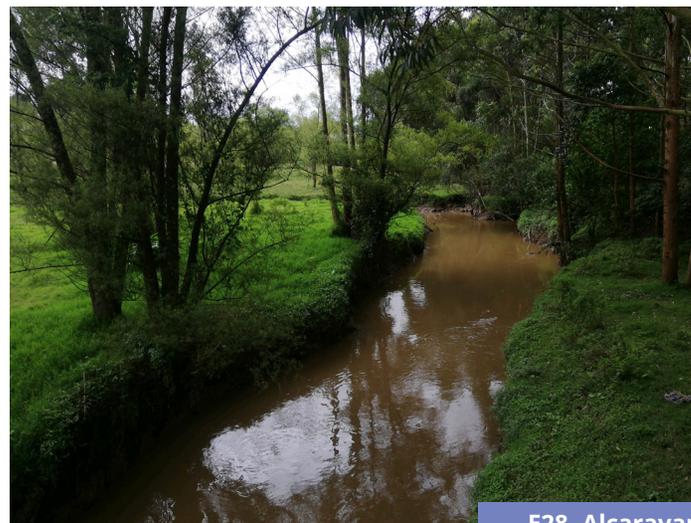
E25 - La Amistad



E26 - El Chagualo



E27 - Puente La Feria



E28- Alcaravanes

En la Tabla 13 y Figura 8 se muestran los valores del índice BMWP para 4 estaciones de la quebrada La Marinilla, durante tres campañas de muestreo, además de la interpretación de la calidad biológica del agua para cada uno de éstos. Se encontró que las estaciones presentes, registran calidad de agua crítica y muy crítica; con puntajes entre 9-29, significado de aguas muy y fuertemente contaminadas. La baja puntuación registrada posiblemente es debido a la baja diversidad registrada y a la dominancia de las taxa Chironomidae sp, Erpobdellidae sp. Tubifex sp. y Physa sp.

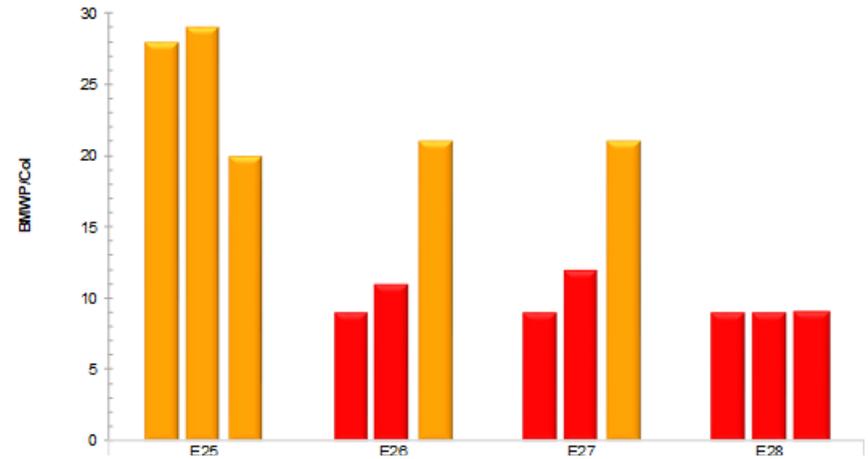


Figura 8. Bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de La Quebrada La Marinilla. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Tabla 13. Clase, calidad biológica y significado de bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada La Marinilla. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estación	Código	C1				C2				C3			
		Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua
La Amistad	E25	28	Crítica	Aguas muy contaminadas		29	Crítica	Aguas muy contaminadas		20	Crítica	Aguas muy contaminadas	
El Chagualo	E26	9	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas		11	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas		21	Crítica	Aguas muy contaminadas	
Puente La Feria	E27	9	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas		12	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas		21	Crítica	Aguas muy contaminadas	
Alcarava- nes	E28	9	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas		9	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas		9	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	

Índice BMWP/Col Quebrada Yarumal



E29 - Puente Colegio Guillermo Gaviria

En la Tabla 14 y Figura 9 se muestran los valores del índice BMWP para la estación E29 Quebrada Yarumal, durante tres campañas de muestreo, además de la interpretación de la calidad biológica del agua para cada uno de éstos. Se encontró que la estación Puente Colegio Guillermo Gaviria, en la primera campaña presento aguas ligeramente contaminadas (62), con una calidad aceptable; a diferencia de los dos siguientes muestreos, en los que se registraron aguas muy contaminadas con puntajes de 33, el cambio en la calidad del agua puede ser debido a la disminución la diversidad y además presentarse la dominancia de familias con bajo puntaje.

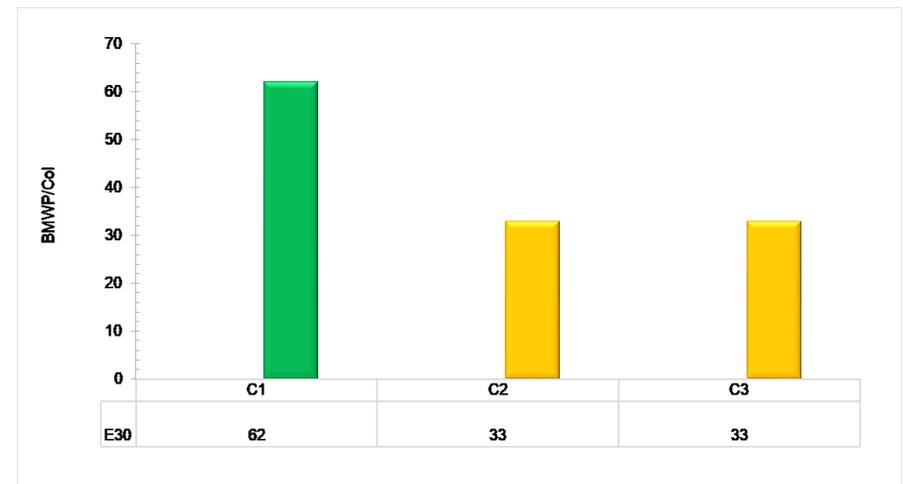


Figura 9. Bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada Yarumal. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Tabla 14. Clase, calidad biológica y significado de bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada Yarumal. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estación	Código	C1				C2				C3			
		Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua
Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	62	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Calidad aceptable	33	Crítica	Aguas muy contaminadas	Calidad crítica	33	Crítica	Aguas muy contaminadas	Calidad crítica

Índice BMWP/Col Quebrada Chachafruto



E30 - Las Delicias

En la Tabla 15 y Figura 10 se muestran los valores del índice BMWP para la estación E30 Quebrada Chachafruto, durante tres campañas de muestreo, además de la interpretación de la calidad biológica del agua para cada uno de éstos. Se encontró que la estación Las Delicias, en el primero y segundo periodo de muestreo presento aguas moderadamente contaminadas, puntajes de 44 y 54 respectivamente, con una calidad dudosa; para la en la última campaña de muestreo bajo este puntaje a 12, calidad de agua muy crítica, lo que significa aguas fuertemente contaminadas, esta disminución en el valor del índice, es debido a la baja cantidad de familias reportadas y al bajo puntaje de las presentes.

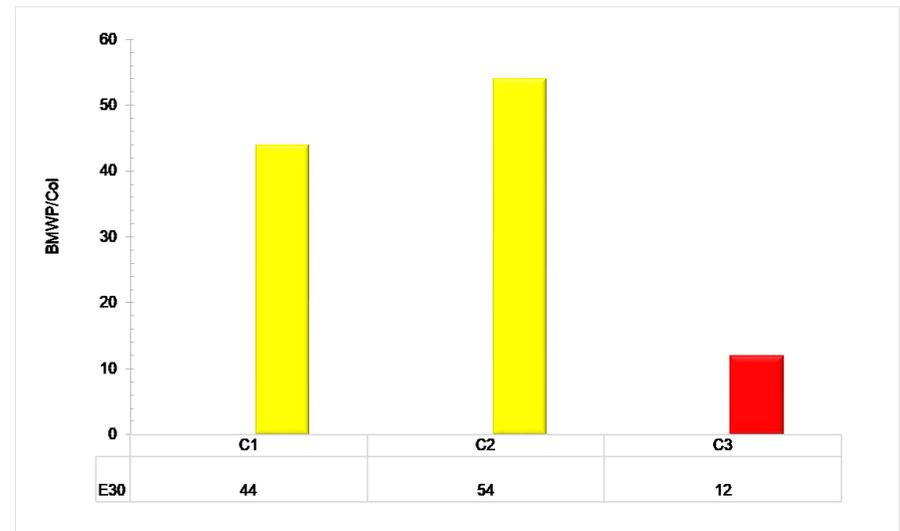


Figura 10. Bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de La Quebrada Chachafruto. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Tabla 15. Clase, calidad biológica y significado de bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada Chachafruto. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estación	Código	C1				C2				C3			
		Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua
Las Delicias	E30	44	Dudosa	Agua moderadamente contaminadas		54	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas		12	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	

Índice BMWP/Col Quebrada El Salado



E31 - Campaña abajo

En Tabla 16 y Figura 11 se muestran los valores del índice BMWP para la estación E31 de la quebrada El Salado, durante tres campañas de muestreo, además de la interpretación de la calidad biológica del agua para cada uno de éstos. Se encontró que la estación en la primera campaña de muestreo presentó aguas no contaminadas, con una calidad buena, puntaje de 108; para la siguientes campañas se presentó una disminución gradual de la puntuación, la segunda campaña de muestreo se registró aguas ligeramente contaminadas con un puntaje de 77 y para la última campaña de muestreo el valor del índice BMWP/Col, continuo disminuyendo (57), encontrando para esta campaña una calidad de agua dudosa, lo que significa aguas moderadamente contaminada

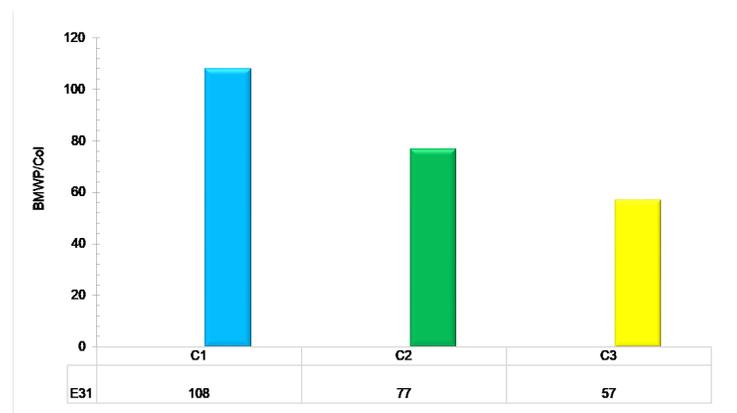


Figura 11. Bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada El Salado. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Tabla 16. Clase, calidad biológica y significado de bio-indicación del índice BMWP/Col de las estaciones de la Quebrada El Salado. Durante tres campañas de muestreo (agosto y noviembre de 2020; febrero de 2021).

Estación	Código	C1				C2				C3			
		Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua	Valor BMWP-Col	Calidad	Significado	Calidad del agua
Compañía abajo	E31	108	Buena	Aguas no contaminadas		77	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas		57	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	

Bioecología

Los Arthropodos representan el grupo más abundante de macroinvertebrados acuáticos. A este filo pertenecen la clase más representativa en el presente proyecto. Insecta, bajo esta clase se agrupan siete órdenes de insectos, los cuales incluyen familias acuáticas que constituyen la fauna más representativa de quebradas y ríos, como lo es el orden díptera, viven en hábitats muy variados, se encuentran en los ríos, arroyos, lagos, embalses, brácteas de bromelias y demás plantas que acumulan agua; los quironómidos viven en aguas muy contaminadas (Roldán G., Restrepo, 2008). Los artrópodos según Bar (2011), son el grupo más diverso y abundante de animales. Las 750.000 especies descritas representan más de tres veces el resto de especies animales juntas y lo han logrado gracias a su gran diversidad adaptativa que les ha permitido colonizar diversos hábitats desde su aparición en el Precámbrico.

Los oligoquetos acuáticos se consideran uno de los grupos más importantes de los invertebrados presentes en lagos, ríos y embalses. Constituyen un eslabón importante en la cadena trófica bentónica, principalmente en aguas eutrofizadas y/o contaminadas, donde alcanzan densidades muy elevadas y sirven de alimento para peces bentónicos, turbelarios, sanguijuelas, nematodos y larvas de insectos (Brinkhurst, Chua, & Kaushik, 1972). (Aarefjord, Borgstrom, & Milbrink, 1973). (Kaster, 1989). (Schürch & Walter, 1978). Los organismos de la clase oligoqueta predominan en el bentos de los ríos, lagos y embalses con un grado medio o porcentajes altos de eutrofización o contaminación orgánica.

La mayoría de los oligoquetos viven en aguas eutrofizadas, sobre fondo fangoso y con abundante cantidad de detritus. Los tubificidos pueden vivir a varios metros de profundidad donde el oxígeno escasea. En los ríos contaminados con materia orgánica y aguas negras, los tubificidos se encuentran en términos de miles por metro cuadrado, constituyéndose éstos en indicadores de contaminación acuática. Los tubificidos que viven enterrados en el fondo, construyen tubos a través de los cuales proyectan su extremo posterior, el cual es agitado por el agua, obteniendo en esta forma una mayor cantidad de oxígeno (Roldán, 1996).

Los miembros del *Phyllum Mollusca* son unos de los invertebrados más notorios y conocidos para el ser humano. Estos constituyen el se-

gundo de los *Phyllum* más numerosos en especies, luego de los Artrópodos. Se estima la existencia de aproximadamente 120.000 especies en el mundo con unas 35.000 fósiles. Desde el mar, los bivalvos y gasterópodos colonizaron ambientes salobres y dulceacuícolas; sólo los caracoles (gasterópodos) invadieron el medio terrestre. Los moluscos le han brindado al hombre una serie de beneficios, tales como alimento, herramientas, monedas, medicina, recurso de calcio, objetos culturales, comercialización e industrialización de perlas y nácar provenientes de bivalvos, etc. (Kay, 1995a). Además se utilizan como indicadores biológicos de calidad de agua (p. ej.: *Physella cubensis* Pfeiffer y *Stenophysa marmorata* Guilding) y en procesos de purificación (Hallawell, 1986).

En la cuenca del río Negro y sus principales afluentes es también notable la presencia y abundancia del género *Physa*. Los gastropodos viven por lo regular en aguas abundantes en carbonato de calcio, necesario para la construcción de la concha. Por lo general, están asociados a lugares con mucha vegetación acuática, materia orgánica en descomposición, en medios de alta dureza y alcalinidad. Abundan en aguas quietas, poco profundas y con abundante materia orgánica en descomposición (Roldán, 1999).

Acompañando los *Phyllum Arthropoda*, *Mollusca* y *Annelida* se encuentran los *Platyhelminthes*, este *Phyllum* agrupa a los animales conocidos como gusanos planos o planarias. Son animales que carecen de cavidad del cuerpo, ano o sistema circulatorio, existiendo especies parasitas y especies libres. En los sistemas acuáticos se encuentra el *subphylum Turbellaria*, más conocido como planarias, turbelarios o triclados. Son animales de cuerpo deprimido, muy plano (de ahí el nombre de planarias) sin segmentación aparente ni apéndices y una coloración variable desde el blanco lechoso hasta negro. Pueden tener ojos u ocelos y su boca se localiza en su parte ventral. En general huyen de la luz, por lo que se encuentran en la parte inferior de las piedras o los objetos sumergidos. Pueden vivir en todo tipo de aguas dulces, ambientes húmedo, incluso en aguas subterráneas siendo animales depredadores (Oscos, Galicia, & Miranda, 2009).

La bioecología de todos estos insectos acuáticos explica la alta abundancia y frecuencia de aparición que presentaron durante el presente proyecto y los diferentes tramos y épocas evaluadas. En primera instancia los *dípteros* (moscas y zancudos) conforman uno de los órdenes de insectos acuáticos mejor adaptados a ecosistemas lóticos. Se pueden



encontrar en diferentes meso-hábitats como zonas de rápidos y pozas, y diferentes tipos de sustratos de tipo vegetal (hojarasca, troncos, ramas, raíces sumergidas) y rocoso (rocas, cantos, gravas y arenas) en ríos y quebradas de alta montaña con características propias como las observadas en las estaciones y periodos muestreados de la cuenca del río Negro y sus principales afluentes.

El orden *Diptera* más específicamente la familia *Chironomidae*. comprende una de las familias mejor representadas por su abundancia y diversidad en los ambientes acuáticos continentales. Sus estados inmaduros representan una franja importante en la ecología de la comunidad bentónica de la casi totalidad de los limnótotos naturales artificiales de aguas someras o profundas, corrientes o estancadas, sobre amplias su-

perficies o en pequeños reservorios. La importancia como bioindicadores radica en la interpretación de ambientes altamente contaminados y con presencia de materia orgánica (Dominguez, Molineri, Pescador, Hubbard, & Nieto, 2006).

Los resultados obtenidos en estudios anteriores (Forero et al., 2014) en el área de interés muestran que oligoquetos como *Erpobdellidae* y *Helobdella* junto con larvas de *Chironomidae*, son los organismos más tolerantes a la contaminación generada por el enriquecimiento de materia orgánica e inorgánica en los sitios estudiados (Chalar, Arocena, Pacheco, & Fabián, 2011). Además, cabe adicionar que en el estudio mencionado se obtuvo una amplia diversidad diferente a la reportada en el estudio actual en la Fotografía 37 las taxa más abundantes y representativas.

Taxones más abundantes



Physa sp.



Chironomidae sp.



Ferrissia sp.



Biomphalaria sp.



Erpobdellidae sp.



Simulium sp.



Culex sp.



Leptonema sp.



Helobdella sp.

Fotografía 14

Registro fotográfico de los taxa de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca del Río Negro y sus principales afluentes a partir del muestreo de 31 estaciones. Fuente: Yuliana Patiño. 2021.

Índice de Calidad Ecológica

Los resultados del índice de calidad ecológica con base en los macroinvertebrados acuáticos en la cuenca del Río Negro y afluentes indicaron que las relaciones entre las variables fisicoquímicas y la abundancia de los macroinvertebrados corresponden a modelos unimodales para las tres campañas de muestreo. Luego de estandarizar las matrices, el primer filtro del análisis evidenció una longitud del gradiente en el primer eje de 3.15, 3.29 y 3.26 unidades de desviación estándar (SD) para la primera, segunda y tercera campaña respectivamente (Anexo ICE macroinvertebrados C1, C2 y C3). Estos valores fueron determinados a partir de un análisis de correlaciones sin tendencia (DCA) y sugieren la ejecución de un análisis de correlaciones canónicas (CCA) para las tres campañas de monitoreo.

Después de ejecutar los modelos de correlaciones canónicas CCA para los tres monitoreos se obtuvo un valor p inferior a 0.05 en cada uno de ellos, lo cual indica que dichos modelos fueron significativos; lo cual sugiere que el modelo de relación entre macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos contó con un número de estaciones de muestreo y variables que potenciaron la robustez de las relaciones multivariadas, los cuales por teoría son mucho más potentes cuando el gradiente de varios casos hace más representativa la multidimensionalidad de los datos.

Al evaluar el filtro de los supuestos de colinealidad y del factor de la inflación de la varianza, fueron incluidas en los modelos de análisis de correlaciones canónicas (CCA) 18, 18, y 15 variables ambientales en la

primera, segunda y tercera campaña respectivamente, (Anexo ICE macroinvertebrados C1, C2 y C3). Las variables comunes en los tres monitoreos fueron: Caudal, pH, temperatura, conductividad, % de saturación de oxígeno, nitratos, nitritos, ortofosfatos, y alcalinidad.

Después del reescalado por medio de una regresión lineal de los datos, en la Tabla 17 se presentan los valores óptimos y de tolerancia con los que fueron escalonados para cada uno de los morfotipos que se encuentran presentes en las 31 estaciones y los tres muestreos en la cuenca del Río Negro y afluentes. Estos valores se obtuvieron a partir de un promedio ponderado de las abundancias con relación a los valores reescalados que provienen de los análisis de los modelos CCA ejecutados, los cuales reúnen la mayor varianza explicada de la relación entre las variables ambientales y la abundancia de los macroinvertebrados en las diferentes estaciones.

La tendencia de los resultados en cuanto a los óptimos y tolerancias de los morfotipos en las tres campañas se observa en la Tabla 17, Figura 13, Figura 14 y Figura 15. Donde los diferentes taxones obtuvieron un valor óptimo por encima de 8, para la primera y segunda campaña fueron 11 taxones: *Baetidae sp.*, *Camelobaetidius sp.*, *Dugesia sp.*, *Hetaerina sp.*, *Heterelmis sp.*, *Leptonema sp.*, *Lymnaeidae sp.*, *Mortoniella sp.*, *Rhagovelia sp.*, *Simulium sp.* y *Tipula sp.* Para la tercera campaña fueron 6 taxones: *Baetidae sp.*, *Hetaerina sp.*, *Heterelmis sp.*, *Perithemis sp.*, *Simulium sp.* y *Tipula sp.* La frecuencia y abundancia de varias especies con altos óptimos corroboran que existe una buena adaptación a las condiciones ambientales de la cuenca del Río Negro y afluentes y en primera instancia son organismos que pueden brindar soporte al seguimiento del comportamiento de la cuenca.

Tabla 17. Valores óptimos y de tolerancia de cada uno de los morfotipos de macroinvertebrados registrados en las 31 estaciones durante la primera, segunda y tercera campaña de monitoreo en la cuenca del Río Negro y afluentes.

Campaña 1			Campaña 2			Campaña 3		
Morfotipo	Óptimo	Tolerancia	Morfotipo	Óptimo	Tolerancia	Morfotipo	Óptimo	Tolerancia
<i>Baetidae sp.</i>	9.22	1.42	<i>Baetidae sp.</i>	9.06	1.37	<i>Baetidae sp.</i>	8.94	0.99
<i>Biomphalaria</i>	5.50	1.77	<i>Biomphalaria</i>	5.80	1.72	<i>Biomphalaria</i>	5.62	1.62
<i>Camelobaetidius</i>	8.52	2.30	<i>Camelobaetidius</i>	8.35	2.20	<i>cf. Tubifex</i>	2.15	1.26

Campaña 1			Campaña 2			Campaña 3		
Morfotipo	Óptimo	Tolerancia	Morfotipo	Óptimo	Tolerancia	Morfotipo	Óptimo	Tolerancia
<i>cf. Tubifex</i>	6.30	2.78	<i>cf. Tubifex</i>	4.70	2.82	<i>Chironomidae sp.</i>	4.93	2.12
<i>Chironomidae sp.</i>	2.81	1.95	<i>Chironomidae sp.</i>	2.90	2.10	<i>Crambidae</i>	8.00	1.79
<i>Clogmia</i>	2.05	0.76	<i>Clogmia</i>	1.95	0.63	<i>Dugesia</i>	4.36	2.86
<i>Dugesia</i>	9.25	1.69	<i>Dugesia</i>	8.93	1.51	<i>Erpobdellidae sp.</i>	2.74	1.63
<i>Dytiscidae sp.</i>	7.34	2.64	<i>Dytiscidae sp.</i>	7.77	2.69	<i>Dytiscidae sp.</i>	6.33	2.32
<i>Erpobdellidae sp.</i>	2.83	0.96	<i>Erpobdellidae sp.</i>	2.87	1.12	<i>Helobdella</i>	2.44	1.22
<i>Helobdella</i>	1.84	1.34	<i>Helobdella</i>	1.90	1.41	<i>Hetaerina</i>	9.22	1.31
<i>Hetaerina</i>	9.34	0.99	<i>Hetaerina</i>	9.19	1.01	<i>Heterelmis</i>	9.00	0.83
<i>Heterelmis</i>	8.10	1.37	<i>Heterelmis</i>	8.27	1.27	<i>Perithemis</i>	9.37	1.60
<i>Hyalella</i>	5.67	1.33	<i>Hyalella</i>	6.34	1.25	<i>Physa</i>	3.11	1.97
<i>Hydrobiidae sp.</i>	5.85	3.10	<i>Hydrobiidae sp.</i>	6.18	2.84	<i>Simulium sp1.</i>	9.04	0.91
<i>Isopoda sp.</i>	5.11	1.17	<i>Isopoda sp.</i>	5.71	1.16	<i>Simulium sp2.</i>	4.11	1.82
<i>Isotomidae sp.</i>	6.15	2.71	<i>Isotomidae sp.</i>	6.74	2.91	<i>Tipula</i>	8.19	1.35
<i>Leptnonema</i>	9.80	0.44	<i>Leptnonema</i>	9.80	0.19			
<i>Lispe</i>	5.20	2.04	<i>Lispe</i>	5.32	2.20			
<i>Lymnaea</i>	9.42	1.12	<i>Lymnaea</i>	9.31	1.00			
<i>Molophilus</i>	6.04	1.58	<i>Molophilus</i>	6.84	1.67			
<i>Mortoniella</i>	9.67	0.62	<i>Mortoniella</i>	9.69	0.21			
<i>Physa</i>	4.84	2.53	<i>Physa</i>	5.23	2.46			
<i>Psychoda</i>	4.42	3.58	<i>Psychoda</i>	4.31	3.51			
<i>Rhagovelia</i>	9.26	1.28	<i>Rhagovelia</i>	9.31	0.91			
<i>Scarabaeidae sp1.</i>	4.94	1.61	<i>Scarabaeidae sp1.</i>	5.43	1.76			
<i>Simulium</i>	9.18	1.18	<i>Simulium</i>	9.11	1.04			
<i>Sphaeriidae sp.</i>	7.73	1.71	<i>Sphaeriidae sp.</i>	7.98	1.42			
<i>Staphylinidae sp1.</i>	5.02	1.61	<i>Staphylinidae sp1.</i>	5.53	1.66			
<i>Thiaridae sp.</i>	6.83	2.35	<i>Thiaridae sp.</i>	7.12	2.22			
<i>Tipula</i>	8.50	1.27	<i>Tipula</i>	8.39	1.35			

Adicionalmente, los taxones que presentaron altos óptimos y a su vez baja tolerancia, indican sensibilidad a la amplitud del rango ambiental y por esta razón podrían ser considerados como bioindicadores del gradiente ambiental en la cuenca estudiada, finalmente al combinar ambas observaciones estos taxones fueron: *Baetidae sp.*, *Hetaerina sp.*, *Heterelmis sp.*, *Leptonema sp.*, *Mortoniella sp.*, *Rhagovelia sp.*, *Simulium sp.*

Los morfotipos mencionados se alternaron entre las tres campañas, presentando óptimos superiores a 9 y reduciendo al máximo su amplitud de tolerancia con valores inferiores a 1, considerándose así, como los taxones más sensibles a las variables ambientales presentes en esta fuente; estos organismos corresponden a la clase insecta. Los insectos acuáticos son un grupo diverso de organismos asociados a los cuerpos de agua dulce, los cuales incluyen humedales, ríos, y lagos, entre otros, llevan a cabo todos o partes de sus estadíos de desarrollo asociados a estos cuerpos de agua. Estos organismos son componentes importantes de los ecosistemas, donde cumplen una variedad de funciones en los procesos ecológicos (Ramírez, A., & Rosas, 2006; Roldán, 2003).

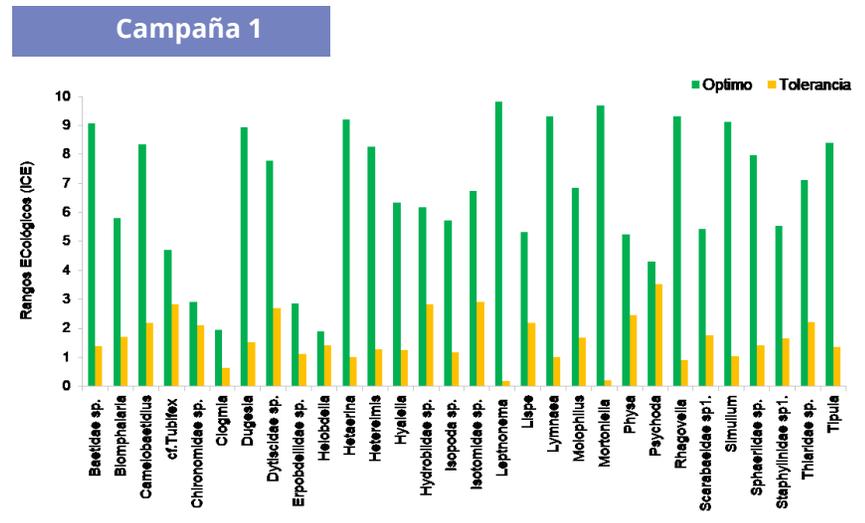


Figura 12. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de los morfotipos de macroinvertebrados registrados en la cuenca del Río Negro y afluentes después del análisis de reescalado en asociación con los modelos CCA. Campaña 1 (agosto 2020).

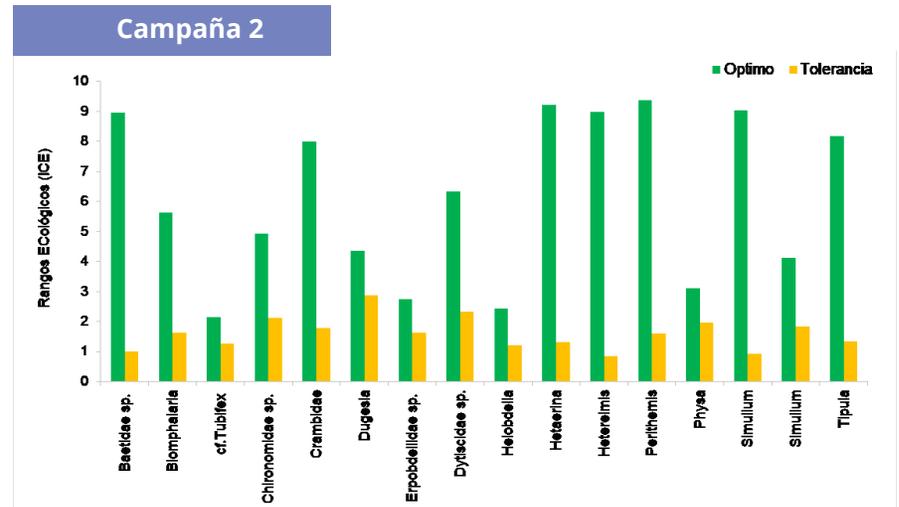


Figura 13. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de los morfotipos de macroinvertebrados registrados en la cuenca del Río Negro y afluentes después del análisis de reescalado en asociación con los modelos CCA. Campaña 2 (noviembre 2020).

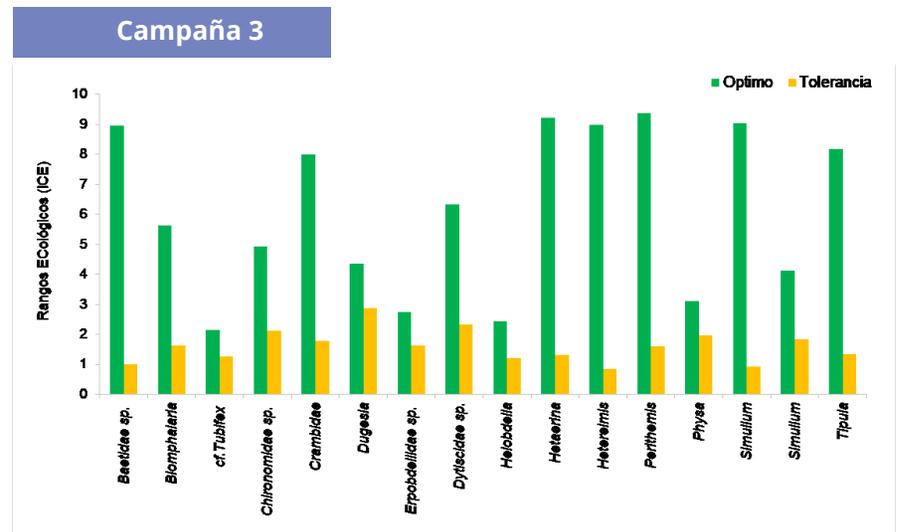


Figura 14. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de los morfotipos de macroinvertebrados registrados en la cuenca del Río Negro y afluentes después del análisis de reescalado en asociación con los modelos CCA. Campaña 3 (febrero 2021).

A nivel de bioindicación los siete taxones mencionados son considerados organismos indicadores de un buen estado ecológico, que en relación con el índice ecológico BMWP-Col (Roldán, 2003), obtienen puntuaciones entre 5 y 7 perteneciendo así al grupo II, indicador de aguas medianamente contaminadas. La mayoría de estos morfotipos habitan en rápidos con materia orgánica o vegetación, en aguas bien oxigenadas, se encuentran tolerancias amplias a la temperatura y, hasta cierto punto a la contaminación, sin embargo, no puede sobrevivir niveles altos de contaminación (Ramírez, A., & Rosas, 2006). Dichos taxones deberían ser de considerable atención en cuanto a su grado de ocurrencia y abundancia en futuros monitoreos con el propósito de identificar cambios en el gradiente ambiental de la cuenca del Río Negro y afluentes.

En la Tabla 18 y Figura 15 se presentan los resultados del índice para cada estación y muestreo ejecutado. Tal como se orientó desde el reescalamiento, los valores oscilan desde 1 hasta 10, siendo los menores valores asociados a una condición crítica en cuanto a la calidad ecológica para el desarrollo de los macroinvertebrados registrados en la cuenca del Río Negro y afluentes; en contraste, los valores mayores corresponden a una buena calidad ecológica.

En la Figura 15 se presenta la distribución del ICE para la cuenca del Río Negro y afluentes, en las tres campañas de muestreo, es importante mencionar que, para evitar sesgos en la elaboración del índice a causa de las estaciones o taxones con baja abundancia, diversidad y/o frecuencia, se eliminaron los análisis de los grupos, estaciones y/o campañas que se encontraron con una presencia menor o igual al 10% (3) del total de las estaciones analizadas.

En torno a los resultados se observó que las estaciones con mayores valores registrados fueron las estaciones: E11 (Las Acacias), E20 (Romeal), E21 (Puente Molino) y E31 (Compañía Abajo), pertenecientes a la Quebrada la Pereira, la Mosca y el Salado, estas estaciones se caracterizan por presentar aguas tranquilas y transparentes, con presencia de algas y plantas acuáticas sumergidas, vegetación riparia diversa y en su mayoría nativa, en estos puntos de muestreo no se evidencia alta perturbación directa al tramo de la fuente hídrica. El ICE tiende a tener mayores valores en la primera campaña de muestreo, los taxones más representativa fueron *Chironomidae sp.*, *Sphaeriidae sp.* y *Baetidae sp.* la estación de muestreo que registro el valor más alto durante este periodo de muestreo, fue la E21 perteneciente a la estación Puente Molino

de la Quebrada la Mosca, que a su vez registro un alto valor del índice BMWP-Col, indicando una calidad de agua buena, con un significado de aguas no contaminadas, el taxa más dominante en este punto de muestreo fue *Baetidae sp.*, organismos que se caracterizan por encontrarse en ríos y quebradas torrentosas no contaminadas, indicando el buen estado del ecosistema (Roldán, 2003).

Las estaciones con menores valores registrados fueron las estaciones: E7 (Después de descarga PTARD Rionegro), E8 (Puente Autopista), E9 (La Fresera) E15 (Casa Mia), E26 (El Chagualo) y E28 (Alcaravanes), pertenecientes al Río Negro y la Marinilla, estas estaciones se caracterizan por presentar aguas turbias con una alta cantidad de sedimentos y con una coloración oscura, la vegetación está conformada por pasto y algunos árboles de tamaño pequeño, en estos puntos de muestreo se observa intervenciones antrópicas causadas en su mayoría por la agricultura intensiva (uso de riegos) y el pastoreo de ganado, además de la ubicación cercana de PTAR, adicional a ello el registro de calificación del indicador fisicoquímico de calidad del agua (ICAfa) este entre medio a malo. Los menores valores de ICE se reportaron en la tercera campaña de muestreo, los taxones más representativos fueron *Physa sp.*, *Tubifex sp.*, *Erpobdellidae sp.* y *Dugesia sp.*, el valor más bajo durante este

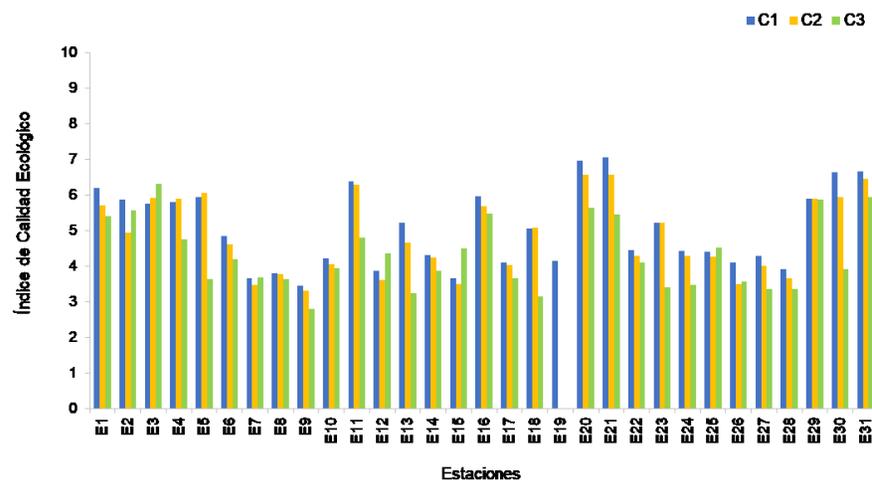


Figura 15. Distribución del índice de calidad ecológica basado en macroinvertebrados bénticos en las tres campañas de monitoreo en la cuenca del Río Negro y afluentes. (C=campaña).

Tabla 18. Valores del índice de calidad ecológica en la cuenca del Río Negro y afluentes por estación y campaña.

Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código estación	Índice de calidad ecológica		
			Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3
Río Negro	El Hierbal	E1	6.20	5.72	5.41
	Montenevado	E2	5.88	4.94	5.57
	Charco Manso	E3	5.76	5.93	6.32
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	5.81	5.90	4.76
	Puente Real	E5	5.95	6.06	3.63
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	4.85	4.61	4.19
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	3.66	3.48	3.68
	Puente Autopista	E8	3.81	3.77	3.64
	La Fresera	E9	3.45	3.31	2.80
	Río Abajo	E10	4.23	4.05	3.94
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	6.39	6.30	4.81
	San Sebastián	E12	3.87	3.61	4.37
	Manzanares	E13	5.23	4.66	3.24
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	4.32	4.24	3.87
	Casa Mia	E15	3.65	3.49	4.49
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	5.96	5.68	5.48
	Flor Silvestre	E17	4.11	4.04	3.67
	Colte punto	E18	5.05	5.08	3.14
	Puente Vía El Tranvía	E19	4.15	-	-
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	6.97	6.57	5.63
	Puente Molino	E21	7.05	6.57	5.45
	Box Coulvert Km.26	E22	4.45	4.30	4.10
	Omya	E23	5.22	5.23	3.40
	Riotex	E24	4.43	4.30	3.47
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	4.40	4.26	4.53
	El Chagualo	E26	4.11	3.49	3.56
	Puente La Feria	E27	4.29	4.00	3.35
	Alcaravanes	E28	3.92	3.66	3.35
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	5.90	5.89	5.87
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	6.64	5.95	3.92
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	6.66	6.46	5.95

periodo de muestreo, fue la E9 perteneciente a la estación La Fresera del Rio Negro, que a su vez registro un bajo valor del índice BMWP-Col, indicando una calidad de agua muy crítica, con un significado de aguas fuertemente contaminadas, el taxa más dominante en este punto de muestreo fue *Tubifex sp.* indicadores de aguas con bajos niveles de oxígeno y alta concentración de nutrientes (Roldán, 2003), producto de la perdida de ciertos atributos del ecosistema natural como el bosque ripario, acompañado de la explotación del suelo en el lecho.

Luego de aplicar los valores expuestos anteriormente para el cálculo de la ecuación que define el índice, se obtuvo un análisis de agrupamiento en el cual se presenta la distancia de tres grupos que definen el escalamiento del índice (Tabla 19 y Tabla 20).

Al obtener el agrupamiento de las diferentes estaciones por medio del índice en las tres campañas se observan los siguientes patrones: Para la campaña 1 (Figura 16) perteneciente al periodo transición, en el agrupamiento con base en el ICE, se determinaron tres grupos, el primero reunió estaciones y periodos con mayores valores (6.20-7.05), el segundo reunió estaciones y periodos con valores intermedios (4.85-5.96) y el tercero reunió estaciones y periodos con valores bajos (3.45-4.45). Para la campaña 2 (Figura 17) perteneciente al periodo de lluvia, en el agrupamiento con base en el ICE, se determinaron tres grupos, el primero reunió estaciones y periodos con mayores valores (5.68-6.57), el segundo reunió estaciones y periodos con valores intermedios (4.61-5.23) y el tercero reunió estaciones y periodos con valores bajos (3.31-4.30). Para la campaña 3 (Figura 18) perteneciente al periodo de transición, en el agrupamiento con base en el ICE, se determinaron tres grupos, el primero reunió estaciones y periodos con mayores valores (5.41-6.32), el segundo reunió estaciones y periodos con valores intermedios (3.24-4.81) y el tercero reunió estaciones y periodos con valores bajos (2.80-4.49).

La formación de cada grupo en cada campaña de muestreo, puede ser debido a las características de la vegetación de la ribera, sustrato presente en la fuente hídrica, coloración del agua y a la presencia o ausencia de vertimientos directos durante el muestreo, condiciones que permiten o no el desarrollo de ciertos taxa de macroinvertebrados acuáticos e influyen en el valor del ICE. Entre las campañas de muestreo las estaciones tendieron a presentar el mismo comportamiento, las diferencias que se presentaron fueron debido a la presencia de lluvias o

vertimientos que causan cambios en las variables fisicoquímicas y en la presencia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos, encontrándose variabilidad en el ICE de las estaciones y por ende en la formación de los grupos.

Tabla 19 Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Rio Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos en las tres campañas de muestreo. Campaña 1 (agosto 2020), campaña 2 (noviembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos, intermedios y bajos del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

ICE	Campaña 1		Campaña 2		Campaña 3	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Grupo 1	6.20	7.05	5.68	6.57	5.41	6.32
Grupo 2	4.85	5.96	4.61	5.23	3.24	4.81
Grupo 3	3.45	4.45	3.31	4.30	2.80	4.49

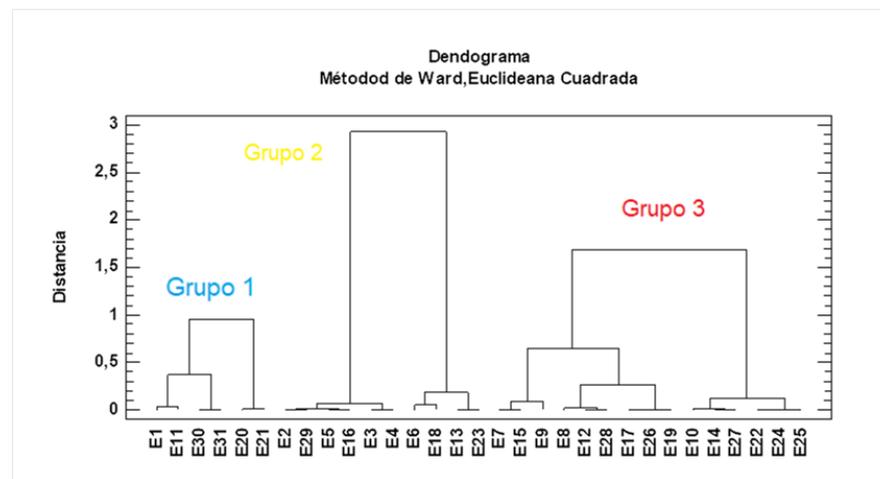


Figura 16. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Rio Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos en la campaña 1 (agosto 2020). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos, intermedios y bajos del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3
Río Negro	El Hierbal	E1	6.20	5.72	5.41
	Montenevado	E2	5.88	4.94	5.57
	Charco Manso	E3	5.76	5.93	6.32
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	5.81	5.90	4.76
	Puente Real	E5	5.95	6.06	3.63
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	4.85	4.61	4.19
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	3.66	3.48	3.68
	Puente Autopista	E8	3.81	3.77	3.64
	La Fresera	E9	3.45	3.31	2.80
	Río Abajo	E10	4.23	4.05	3.94
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	6.39	6.3	4.81
	San Sebastián	E12	3.87	3.61	4.37
	Manzanares	E13	5.23	4.66	3.24
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	4.32	4.24	3.87
	Casa Mia	E15	3.65	3.49	4.49
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	5.96	5.68	5.48
	Flor Silvestre	E17	4.11	4.04	3.67
	Colte punto	E18	5.05	5.08	3.14
	Puente Vía El Tranvía	E19	4.15	-	-
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	6.97	6.57	5.63
	Puente Molino	E21	7.05	6.57	5.45
	Box Couvert Km.26	E22	4.45	4.30	4.10
	Omya	E23	5.22	5.23	3.40
	Riotex	E24	4.43	4.3	3.47
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	4.40	4.26	4.53
	El Chagualo	E26	4.11	3.49	3.56
	Puente La Feria	E27	4.29	4.00	3.35
	Alcaravanes	E28	3.92	3.66	3.35
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	5.90	5.89	5.87
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	6.64	5.95	3.92
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	6.66	6.46	5.95

Tabla 20. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto 2020), campaña 2 (noviembre 2020), campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos, intermedios y bajos del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

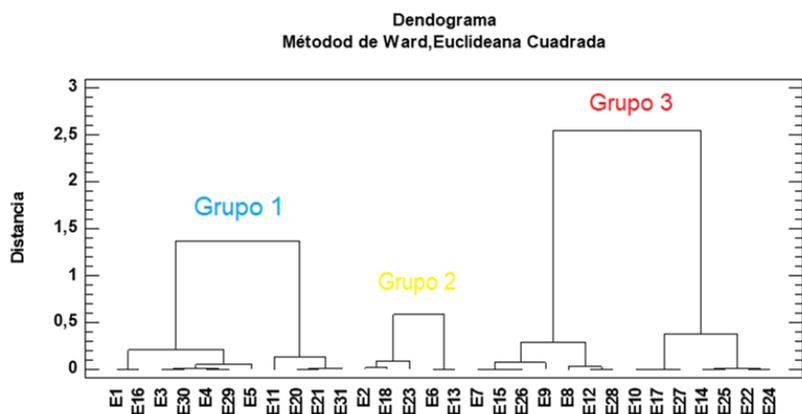


Figura 17. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos en la campaña 2 (noviembre 2020). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos, intermedios y bajos del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

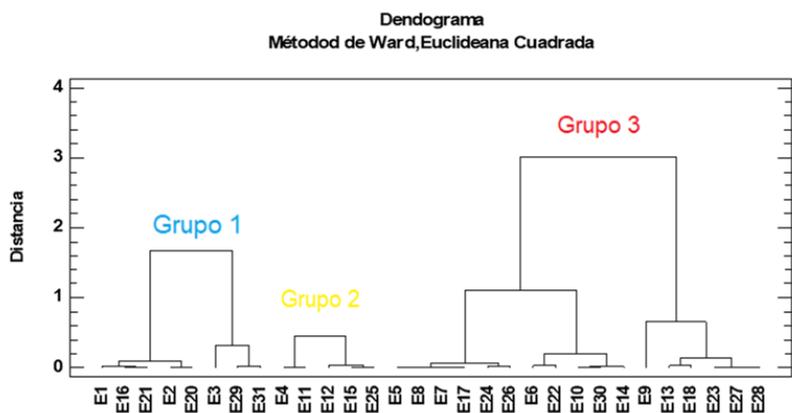


Figura 18. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos en la campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos, intermedios y bajos del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Finalmente se analizó la relación entre el índice de calidad ecológica con las variables fisicoquímicas que fueron admitidas en los modelos de correlaciones canónicas en cada campaña, las cuales se presentan en la Tabla 21. Al revisar el listado de las variables que fueron admitidas en los modelos de CCA se observaron relaciones significativas y/o por debajo de 0.05.

En la cuenca del Río Negro y afluentes se detectó en la primera campaña de muestreo el Spearman (r) fue significativo en 11 casos, se presentó una relación directa del porcentaje de oxígeno disuelto e inversa de las variables: caudal, conductividad eléctrica, demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno, fósforo total, nitritos, alcalinidad, nitratos, sólidos suspendidos volátiles y coliformes totales. La segunda campaña de muestreo presentó un Spearman (r) significativo en 10 casos, se obtuvo una relación directamente proporcional con el porcentaje de oxígeno disuelto e inversamente con el caudal, temperatura, conductividad eléctrica, demanda biológica de oxígeno (DBO5), fósforo total, sólidos suspendidos totales, nitritos, turbiedad, y COT. La tercera campaña de muestreo presentó un Spearman (r) significativo en 10 casos, se obtuvo una relación directamente proporcional con el porcentaje de oxígeno disuelto e inversamente con la temperatura, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, nitritos, turbiedad, alcalinidad, ortofosfatos solubles y color 620 nm.

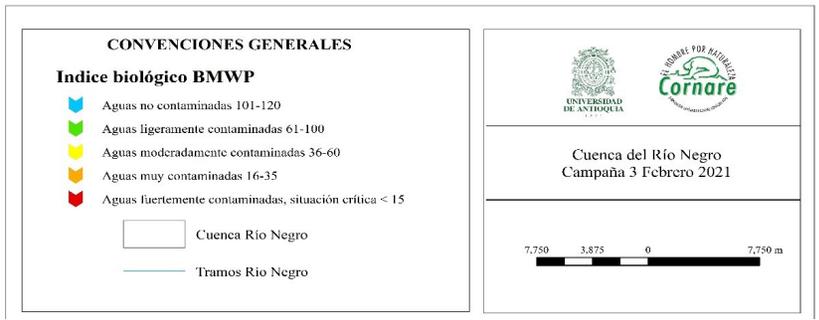
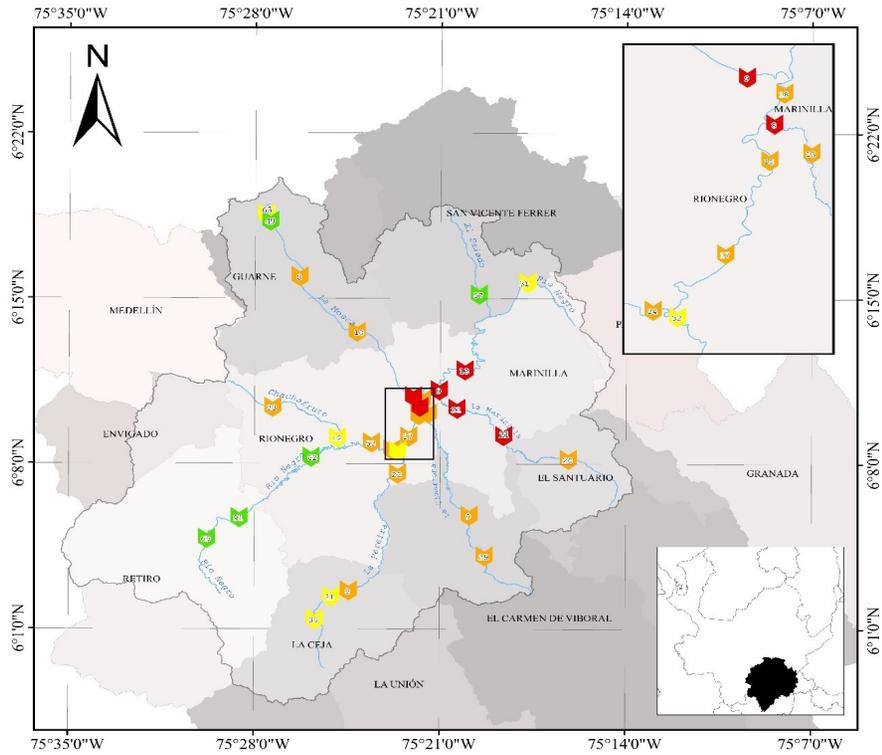
Los iones de cada uno de los parámetros fisicoquímicos relacionados anteriormente en cada campaña de muestreo generan un peso importante en la clasificación del índice ICE, en el que el porcentaje de oxígeno disuelto se encuentra relacionado directamente en las tres campañas, definido como el porcentaje máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y temperatura determinada (Roldán G., Restrepo, 2008) estas condiciones óptimas permiten el desarrollo de los taxones que para el presente estudio son considerados como bioindicadores del gradiente ambiental en la cuenca estudiada: *Baetidae sp.*, *Hetaerina sp.*, *Heterelmis sp.*, *Leptonema sp.*, *Mortoniella sp.*, *Rhagovelia sp.*, *Simulium sp.*, estos organismos habitan en aguas bien oxigenadas (Ramírez, A., & Rosas, 2006). Algunos parámetros mencionados anteriormente y relacionados de una manera inversa como son conductividad eléctrica, fósforo total, sólidos suspendidos totales, nitritos, turbiedad, COT, etc; permiten el desarrollo de organismos tolerantes a la contaminación,

como los oligoquetos de las familias *Erpobdellidae* y *Helobdella*, junto con larvas de Chironomidae, tolerantes a la contaminación generada por el enriquecimiento de materia orgánica e inorgánica en los sitios estudiados (Chalar, Arocena, Pacheco, & Fabián, 2011), provenientes en su mayoría de intervenciones antrópicas, que causan en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, tolerancia o ausencia a estas condiciones de alteración a fuentes hídricas.

Tabla 21. Coeficientes de correlación de Spearman (*r*) entre el índice de calidad ecológica y las variables ambientales incluidas en los modelos de análisis de correlaciones canónicas (CCA) de las tres campañas de monitoreo en la cuenca del Río Negro y afluentes.

Variable ambiental	Campaña 1		Variable ambiental	Campaña 2		Variable ambiental	Campaña 3	
	r	Valor p		r	Valor p		r	Valor p
Caudal (L/s) *	-0.5	0.01	Caudal*	-0.4	0.04	Caudal (L/s)	-0.3	0.09
pH	0.1	0.50	pH	0.2	0.42	pH	-0.3	0.10
Temperatura (°C)	-0.2	0.25	Temperatura (°C) *	-0.4	0.05	Temperatura (°C) *	-0.5	0.01
Conductividad*	-0.6	0.00	Conductividad eléctrica *	-0.6	0.00	Conductividad eléctrica *	-0.6	0.00
Saturación de oxígeno (%) *	0.6	0.00	Saturación de oxígeno (%) *	0.7	0.00	Saturación de oxígeno disuelto (%) *	0.6	0.00
DBO5 (mg/L) *	-0.5	0.00	DBO5 (mg/L) *	-0.7	0.00	DQO (mg/L) *	-0.5	0.01
DQO (mg/L) *	-0.4	0.04	Fósforo total (mg/L) *	-0.6	0.00	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	-0.2	0.22
Fósforo total (mg/L) *	-0.4	0.02	Sólidos suspendidos totales (mg/L) *	-0.4	0.04	Sólidos totales (mg/L) *	-0.6	0.00
Nitratos (mg/L) *	-0.5	0.00	Sólidos totales (mg/L) *	-0.3	0.07	Nitratos (mg/L) *	-0.7	0.00
Alcalinidad total (mg/L) *	-0.4	0.03	Coliformes totales (UFC)	-0.3	0.11	Turbiedad (UNT)*	-0.4	0.03
Nitritos (mg/L) *	-0.6	0.00	Nitratos (mg/L) *	-0.4	0.02	Alcalinidad total (mg/L) *	-0.5	0.01
Ortofosfatos solubles (mg/L)	-0.3	0.12	Turbiedad (UNT) *	-0.4	0.03	Nitritos (mg/L)	-0.3	0.09
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L) *	-0.5	0.00	Alcalinidad total (mg/L) *	-0.4	0.06	Ortofosfatos solubles (mg/L) *	-0.6	0.00
Coliformes totales (NMP) *	-0.5	0.01	Nitritos (mg/L)	-0.2	0.22	Manganeso (mg/L)	-0.2	0.23
Carbono orgánico total (mg/L)	-0.3	0.13	Ortofosfatos solubles (mg/L)	-0.2	0.28	Color real ($\lambda= 620$) *	-0.4	0.04
Manganeso (mg/L)	0.2	0.26	Carbono orgánico total (mg/L) *	-0.4	0.03			
Color real ($\lambda= 525$)	-0.1	0.53	Color real ($\lambda= 525$)	-0.2	0.41			
Color real ($\lambda= 620$)	-0.2	0.33	Betex ($\mu\text{g/L}$)	0.1	0.69			

* Variables con el coeficiente de correlación de Spearman (*r*) <0.05.



Mapa 3 Representación gráfica de los resultados del BMWP/Col para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en en la tercera campaña, época seca (febrero de 2021) en Río Negro y afluentes.



MACRÓFITAS



Introducción

Las plantas acuáticas comprenden grupos variados de plantas que se han adaptado a vivir en ambientes húmedos o totalmente acuáticos. Estas plantas requieren del agua para completar su ciclo vegetativo cuando todas sus partes están sumergidas o sostenidas por el agua (hojas flotantes), pero la reproducción sexual se da cuando sus partes vegetativas se secan debido a la emersión e incluso adoptan formas terrestres, lo que se conoce como plasticidad fenotípica. (Contreras Leiva et al., 2018; Núñez Labra, 2015).

Estas plantas desempeñan roles importantes en la estructura y funcionamiento de los ambientes acuáticos, ya que influyen en las propiedades fisicoquímicas del agua, son fuente de productividad primaria, detoxificadores naturales, y sirven de estructura a otras comunidades bióticas (Meerhoff & Mazzeo, 2004). En el caso de los ríos de alta montaña, presentan características fisicoquímicas particulares que pueden condicionar la presencia y distribución de la vegetación acuática (Botero-Álvarez et al., 2020).

Las plantas acuáticas poseen valor paisajístico y aportan materia orgánica a los cuerpos de agua, condicionados durante el ciclo anual por los periodos de aguas altas y bajas, proceso que se relaciona directamente con la topografía, la geología y el clima, los sólidos suspendidos en el agua y el nivel (Gómez Rodríguez et al., 2017; IDEAM & INVEMAR, 2017), por esta razón las macrófitas en los ríos y quebradas se encuentran asociados generalmente a zonas de baja pendiente, con menor velocidad de la corriente, lo que permite la acumulación de una mayor cantidad de sedimentos que favorece el enraizamiento. Generalmente, son zonas de claros, donde la luz alcanza la superficie del cuerpo de agua (Gómez Rodríguez et al., 2017) y donde es común encontrar vegetación de borde (como juncos y helechos) y sobre o bajo el espejo de agua macrófitas flotantes.

(Fassett, 2006). En algunos casos, pueden llegar a generar desequilibrios en el ecosistema por el crecimiento descontrolado de algunas especies (introducidas en su mayoría) (Núñez Labra, 2015).

Por lo anterior, las adaptaciones de las plantas al medio acuático son muy diversas, encontrando: a) plantas totalmente sumergidas, que pueden o no estar arraigadas al sedimento, que tienen todas sus estructuras dentro del agua, o a lo sumo las estructuras reproductivas emergen de la superficie (flores o inflorescencias), b) plantas parcialmente sumergidas o emergentes que están ancladas al fondo, permanecen sumergidas en el agua durante las primeras fases de desarrollo y emergen en la fase reproductiva, c) plantas flotantes con hojas en la superficie y cuyas raíces pueden estar ancladas al sustrato o ser flotantes libres, d) Anfibias: crecen en aguas fluctuantes y pueden sobrevivir periodos de inundación total sin cambios morfológicos significativos, e) Arraigadas flotantes: Aquellos que se mantienen enraizados al sustrato y tienen hojas, que pueden ser de gran tamaño, que flotan en la superficie y e) Libres flotantes: son especies cuyas hojas se mantienen sobre la superficie del agua, no arraigadas, flotan sobre la superficie del agua (Posada & López, 2011).

Las plantas acuáticas presentan una serie de modificaciones en su anatomía y fisiología que reflejan el proceso de adaptación al medio acuático o anfibio en el que viven, lo que las distingue de las plantas terrestres. De ahí las dificultades que presentan para su identificación, dado el cambio que pueden presentar (desaparición de estructuras o modificación de órganos con la consecuente disminución de caracteres taxonómicos) debido a las condiciones ambientales en las que se desarrollen, la época del año y/o su estadio en el momento de muestreo (Posada García & López Muñoz, 2011).

Composición del ensamblaje

En el presente estudio para las 8 fuentes hídricas, en las 31 estaciones de muestreo como se detalla en la tabla 1 encontramos 40 especies agrupadas en 23 familias, 14 órdenes y 4 clases. Para la campaña de muestreo 1 (C1) correspondiente a época de transición seca a lluvias registraron 34 taxa diferentes, en la campaña 2 (C2) 30 taxa y en la campaña 3 (C3) 27. Es probable que por la temporada de transición a lluvias en C1 se haya encontrado mayor cantidad de plantas principalmente vegetación de pantano y herbazales. Por el contrario, en época seca (C3) disminuye la cantidad

de taxones, pero se incrementa la cantidad de porcentaje de cobertura de plantas acuáticas, principalmente sumergidas y enraizadas porque baja el nivel y se facilita el muestreo, entre otras condiciones. Para el análisis, se tuvieron en cuenta las siguientes unidades de vegetación: bosque de ribera o de la llanura aluvial, pantano, acuáticas sumergidas, acuáticas flotantes, acuáticas enraizadas y herbazales (Rangel, 2010) (Tabla 23).

Tabla 23 Composición taxonómica de las 8 fuentes hídricas monitoreadas en las 31 estaciones. Durante tres campañas de muestreo (C1: agosto y C2: noviembre de 2020; C3: febrero de 2021).

División	Clase	Orden	Familia	Taxón	Forma de crecimiento	C1	C2	C3
<i>Pteridophyta</i>	<i>Pteridopsida</i>	<i>Athyriales</i>	<i>Blechnaceae</i>	<i>Blechnum cf. cordatum</i>	V. Pan	X	X	X
<i>Magnoliophyta</i>	<i>Magnoliopsida</i>	<i>Myrtales</i>	<i>Melastomataceae</i>	<i>Nepsera aquatica</i>	V. Pan	X		
			<i>Onagraceae</i>	<i>Ludwigia peruviana</i>	Her	X	X	X
			<i>Acanthaceae</i>	<i>Thunbergia alata</i>	Her	X	X	X
			<i>Lamiaceae</i>	<i>Hyptis capitata</i>	Her	X		
		<i>Asterales</i>	<i>Asteraceae</i>	<i>Ambrosia cumanensis</i>	Her	X	X	X
				<i>Conyza bonariensis</i>	Her		X	
				<i>Acmella brachyglossa</i>	Her	X	X	X
		<i>Apiales</i>	<i>Araliaceae</i>	<i>Hydrocotyle Umbellata</i>	V. Pan	X	X	X
		<i>Caryophyllales</i>	<i>Polygonaceae</i>	<i>Polygonum nepalense</i>	V. Pan	X	X	X





División	Clase	Orden	Familia	Taxón	Forma de crecimiento	C1	C2	C3	
Magnoliophyta	Magnoliophyta	Caryophyllales	Polygonaceae	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	V. Pan	X	X	X	
				<i>Polygonum punctatum</i>	V. Pan	X	X	X	
				<i>Polygonum acuminatum</i>	V. Pan	X	X	X	
		Caryophyllales	Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i>	V. Pan	X			
				<i>Drymaria cordata</i>	V. Pan	X			
		Fabales	Fabaceae	<i>Mimosa albida</i>	Her	X	X		
		Saxifragales	Haloragaceae	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	AF	X	X	X	
		Gentianales	Rubiaceae	<i>Hemidiodia cf. ocyimifolia</i>	V. Pan	X			
			Apocynaceae	<i>Marathrum foeniculaceum</i>	AE		X	X	
	Liliopsida	Poales	Poaceae	<i>Paspalum cf. repens</i>	Her	X	X	X	
				<i>Cynodon dactylon</i>	Her	X	X	X	
				<i>Pennisetum purpureum</i>	Her	X	X	X	
				<i>Gynerium sagittatum</i>	Her	X	X		
				<i>Panicum helobium</i>	Her		X		
				<i>Anthoxanthus odoratum</i>	Her	X	X	X	
		Cyperales	Cyperaceae	<i>Cyperus digitatus</i>	Her	X	X		
				<i>Lolium multiflorum</i>	Her	X			
				<i>Eleocharis elegance</i>	V. Pan	X	X	X	
		Commelinales	Commelinaceae	<i>Commelina difusa</i>	V. Pan	X	X	X	
				<i>Commelina sp.</i>	V. Pan	X	X	X	
			Pontederiaceae	<i>Heterantera reniformis</i>	AE	X	X	X	
				<i>Eichhornia crassipes</i>	AF		X	X	
		Alismatales	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton paramoanus</i>	AE	X	X	X	
				<i>Potamogeton crispus</i>	AE	X		X	
			Hydrocharitaceae	<i>Egeria densa</i>	AS-AE	X	X	X	
			Araceae	<i>Pistia stratiotes</i>	AE	X	X	X	
		Zingiberales	Zingiberaceae	<i>Hedychium coronarium</i>	V. Pan	X	X	X	
Asparagales		Iridaceae	<i>Croscomia aurea</i>	V. Pan	X				
Bryophyta		Briopsysda	Hypnales	Brachytheciaceae	<i>Platyhypnidium aquaticum</i>	AE			X
Riqueza (S)						34	30	27	

AF: Acuática flotante, AE: Acuática enraizada, AS: Acuática sumergida, Her: herbazal, V. Pan: Vegetación de pantano, Bos Llan: Bosque de llanura aluvial.

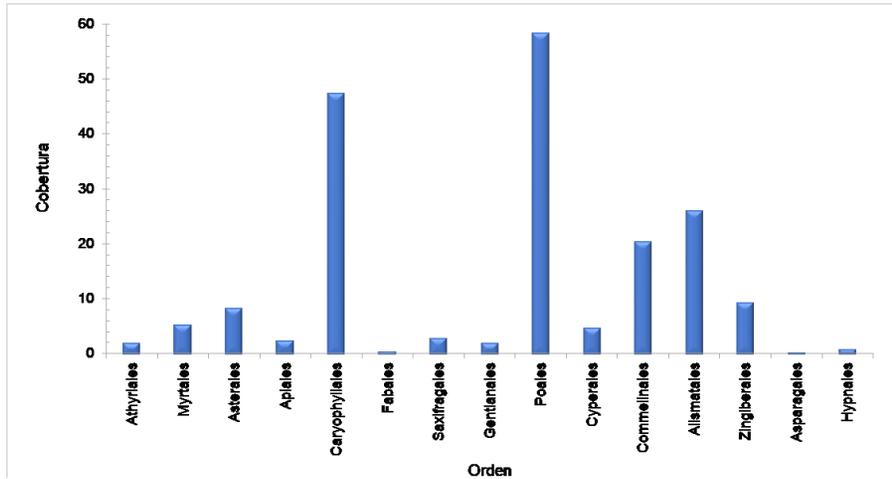


Figura 20. Porcentaje de cobertura promedio de las plantas acuáticas por orden en las 8 fuentes hídricas monitoreadas en las 31 estaciones. Durante tres campañas de muestreo (C1: agosto y C2: noviembre de 2020; C3: febrero de 2021).

La cobertura total del estudio se analiza por el nivel taxonómico de orden encontrando que las Poales con un promedio de 58.3%, que en su mayoría son pastizales y herbazales muy característicos de la vegetación anfibia de los ecosistemas acuáticos donde vive gran cantidad de fauna asociada (Rangel-Ch et al., 2012), con 47.3% de promedio Caryophyllales con *Polygonum* (Díaz-Espinosa et al., 2012), estos serían los géneros de gran formación y amplia distribución. Igualmente, las plantas del orden Alismatales con 25.9% y con representantes como *Egeria densa* y el género *Potamogeton* característicos de la vegetación de sistemas acuáticos al igual que commelinales con 20.3%, son ordenes de distribución restringida (Figura 20). La distribución de menor rango como *Hypnales*, *Athyrales* y *Asparagales* representan un solo taxón de ahí su baja cobertura en todo el estudio.

Estructura de ensamblajes

Distribución de la cobertura

Respecto a la cobertura promedio por campaña de muestreo la campaña de muestreo 3 correspondiente a época seca presentó los máximos valores con un 70%, muy cercano a época de lluvias de la campaña 2 con 68.9% que corresponde a coberturas de gran formación y amplia distribución, los valores son un más bajos de cobertura por campaña los presentó C1 (época de transición a lluvias) con 51.4%.

La estación Casa mía (E15) de la quebrada La Pereira tiene la cobertura promedio más alta para la campaña 1 con 2.7%, la más baja fue de 0.7% en Punte larga (E16). Para la campaña 2 la mayor cobertura la presentó Punte Vía El tranvía (E19) de la quebrada La Cimarrona con 3% y la más baja se calculó para la estación E2 Montenevado que hace parte del Rio Negro con 4.1%. En la campaña 3 el máximo valor de cobertura, lo presentó Punte la Feria (E27) con 4.1%, que hace parte de la quebrada La Marinilla y el más bajo (E30) Las delicias de la quebrada Chachafruto con 0.9% correspondiente a distribución restringida (Tabla 24).

Tabla 24. Porcentaje de cobertura promedio de plantas acuáticas en las 3 campañas de muestreo por estación de monitoreo. Durante tres campañas de muestreo (C1: agosto y C2: noviembre de 2020; C3: febrero de 2021).

Fuente Hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3
Río Negro	El Hierbal	E1	2.05	2.52	2.34
	Montenevado	E2	0.89	1.22	1.41
	Charco Manso	E3	1.60	2.53	3.17
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	1.55	2.05	2.88
	Puente Real	E5	2.07	1.89	2.71
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	0.86	2.21	1.35
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	1.98	2.45	1.32
	Puente Autopista	E8	2.59	2.43	1.50
	La Fresera	E9	2.18	3.02	2.90
	Río Abajo	E10	1.51	2.23	2.89
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	1.7	1.7	2.2
	San Sebastián	E12	1.5	2.7	2.2
	Manzanares	E13	1.8	1.7	2.4
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	1.7	2.2	3.0
	Casa Mia	E15	2.7	2.1	2.7
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	0.7	1.6	1.6
	Flor silvestre	E17	1.4	2.2	2.0
	Coltepunto	E18	1.2	2.7	2.2
	Puente Vía El Tranvía	E19	2.4	3.0	2.3
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	1.5	2.2	1.3
	Puente Molino	E21	1.9	2.4	2.0
	Box Coulvert Km.26	E22	1.5	1.4	1.6
	Omya	E23	1.6	2.4	2.8
	Riotex	E24	1.4	2.7	2.8
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	2.3	1.9	3.2
	El Chagualo	E26	0.8	2.6	2.6
	Puente La Feria	E27	2.2	2.5	4.1
	Alcaravanes	E28	1.8	2.7	2.3
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	0.77	1.72	1.65

Fuente Hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	1.89	2.01	0.92
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	1.24	1.68	1.83
Total % cobertura			51.4	68.9	70.0
Promedio			1.7	2.2	2.3
Mínimo			0.7	1.2	0.9
Máximo			2.7	3.0	4.1
CV (%)			0.3	0.2	0.3

En la Tabla 25 se observa el porcentaje de cobertura tuvo los máximos valores en Río Negro ya que cuenta con 10 estaciones de monitoreo, se observa que el porcentaje es muy cercano en época de transición (C2) y época seca (C3), sin embargo, la quebrada La Pereira con 5 estaciones tiene un porcentaje de cobertura importante, mayor en época seca (C3). La mayoría de fuentes hídricas en general tienen sus mayores coberturas en época seca o de transición, esto debido probablemente al incremento de nutrientes por la ausencia de lluvias, disminución de nivel y de procesos de dilución (Botero-Álvarez et al., 2020).

Tabla 25. Porcentaje promedio de cobertura en las 3 campañas de muestreo por fuente hídrica. Durante tres campañas de muestreo (C1: agosto y C2: noviembre de 2020; C3: febrero de 2021)

Fuente Hídrica	C1	C2	C3
Río Negro	17.3	22.6	22.5
Quebrada La Pereira	9.4	10.4	12.5
Quebrada La Cimarrona	5.8	9.5	8.0
Quebrada La Mosca	7.9	11.1	10.4
Quebrada La Marinilla	7.1	9.8	12.2
Quebrada Yarumal	0.8	1.7	1.6
Quebrada Chachafruto	1.9	2.0	0.9
Quebrada El Salado	1.2	1.7	1.8

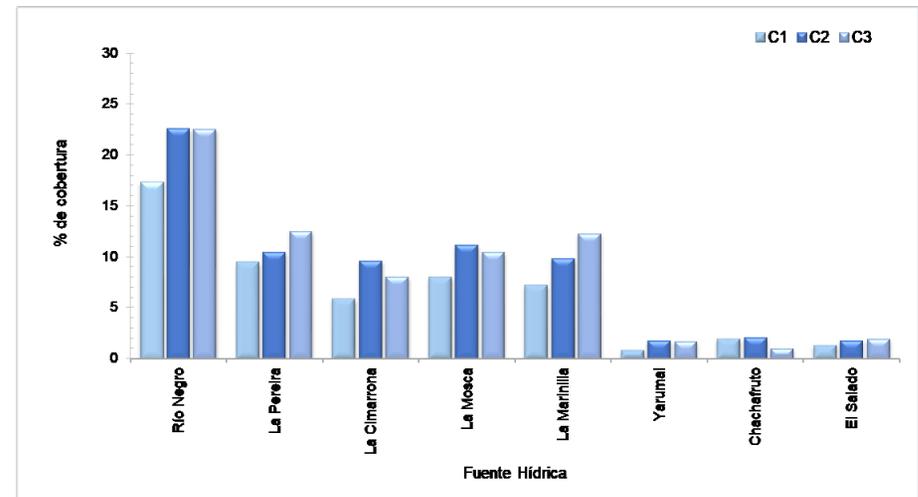


Figura 21. Comportamiento de la cobertura promedio de plantas acuáticas en 8 fuentes hídricas del río Negro y afluentes. Durante tres campañas de muestreo (C1: agosto y C2: noviembre de 2020; C3: febrero de 2021).

La Figura 21 ilustra que para la quebrada La Pereira, La Marinilla y El Salado las máximas coberturas se presentaron en la época seca (C3), Río Negro, La Cimarrona, La Mosca y Chachafruto, en época de transición (C2). Probablemente esta tendencia puede obedecer al tipo de plantas que se desarrollan en cada época, según su capacidad adaptativa a la corriente, el desarrollo de parches más grandes por disminución del nivel del agua e incluso por la posibilidad de acceso a las plantas acuáticas sumergidas especialmente en época seca.

Bioecología



Dentro del presente estudio para las 8 fuentes hídricas consideradas se destacan las especies de plantas acuáticas estrictas:

- o *Egeria densa*: Especie acuática sumergida y enraizada presente en sistemas acuáticos de aguas tranquilas y generalmente en sistemas lóxicos arraigados a rocas o bancos de arena.
- o *Marathrum foeniculaceum*: Es una especie sumergida enraizada que crece fuertemente adherida a rocas en sitios de alta corriente y aguas poco profundas lo cual facilita su cuantificación y muestreo
- o *Myriophyllum aquaticum*: Aunque es una especie abundante en arroyos de poca corriente, puede ser una planta invasiva debido a que crece considerablemente y puede ayudar a generar procesos de colmatación.
- o *Potamogeton crispus*: considerada una especie rara, crece en ríos de aguas tranquilas. Prospera especialmente en aguas medianamente contaminadas o calcáreas.
- o *Eleocharis elegance*: Es una planta herbácea, acuática, enraizada y emergente, que crece en bordes de cuerpos de agua en zonas intervenidas con vegetación secundaria.
- o *Eichhornia crassipes*: Es una especie de planta acuática flotante presente en aguas tranquilas y generalmente su desarrollo se asocia con incremento de nutrientes, en ocasiones puede volverse un problema por su amplio desarrollo.

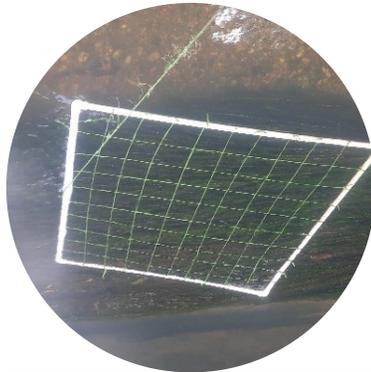
Igualmente, con presencia y porcentaje de coberturas importantes se encuentran los herbazales o plantas anfibias que requieren de humedad para su desarrollo y se encuentran en los bordes de cuerpos de agua se encuentran:

- o *Polygonum punctatum*: Es una hierba semiacuática, que se presenta en suelos húmedos o inundables, en bordes de quebradas, tiene periodos de reproducción cortos.
- o *Ludwigia peruviana*: Es un arbusto terrestre a semiacuático Común en bordes de quebradas, ríos y áreas húmedas alteradas.
- o *Acmella brachyglossa*: Es una maleza tropical ruderal que prefiere hábitats húmedos como las orillas de los cuerpos de agua.
- o *Paspalum cf. repens*: Es una gramínea acuática que crece en márgenes de ríos y quebradas, pueden ser consideradas maleza al obstruir canales y es importante en procesos de sucesión.
- o *Commelina difusa*: Es una especie de hierba semi acuática enraizada, común en áreas perturbadas húmedas, en las orillas de ríos y quebradas.
- o *Polygonum hydropiperoides*: Es una hierba semiacuática, anuales o perennes, rastreras, común en las orillas de sistemas acuáticos.

Taxones más representativos



Egeria densa



Detalle cuadrante



Eleocharis elegans



Detalle cuadrante



Polygonum punctatum



Detalle cuadrante



Myriophyllum aquaticum



Detalle cuadrante





Eichhornia crassipes



Ludwigia peruviana



Acemella brachyglossa



Paspalum cf. repens



Commelina difusa



Polygonum hydropiperoides



Marathrum foeniculaceum



Potamogeton crispus

Fotografía 16. Detalle del registro fotográfico de los taxones más representativos de las plantas acuáticas del estudio en el río Negro y afluentes.
Fuente: Ludy Yanith Pineda Alarcón, 2020-2021.

Índice de calidad ecológica

Los resultados del índice de calidad ecológica con base en la vegetación acuática en la cuenca del Río Negro y afluentes indicaron que las relaciones entre las variables fisicoquímicas y la abundancia de vegetación corresponden a modelos unimodales para las tres campañas de muestreo. Luego de estandarizar las matrices, el primer filtro del análisis evidenció una longitud del gradiente en el primer eje de 3.91, 2.96 y 3.23 unidades de desviación estándar (SD) para la primera, segunda y tercera campaña respectivamente. Estos valores fueron determinados a partir de un análisis de correlaciones sin tendencia (DCA) y sugieren la ejecución de un análisis de correlaciones canónicas (CCA) para las tres campañas de monitoreo.

Después de ejecutar los modelos de correlaciones canónicas CCA para los tres monitoreos se obtuvo un valor p de 0.85; 0.40; y 0.14 en la primera, segunda y tercera campaña respectivamente debido a que estos valores son superiores a 0.05 en cada uno de ellos los modelos no fueron significativos; lo cual sugiere que el modelo de relación entre vegetación acuática y parámetros fisicoquímicos requiere potenciar la robustez de las relaciones multivariadas, las cuales por teoría son mucho más potentes cuando el gradiente de varios casos hace más representativa la multidimensionalidad de los datos. A pesar de la ausencia en la significancia de los modelos el índice de calidad ecológico puede ser analizado en sus tendencias teniendo la



discreción pertinente que las relaciones no son sólidas y necesitarán de una mayor cantidad de datos para, en principio, buscar su significancia.

Al evaluar el filtro de los supuestos de colinealidad y del factor de la inflación de la varianza, fueron incluidas en los modelos de análisis de correlaciones canónicas (CCA) 18, 24, y 16 variables ambientales en la primera, segunda y tercera

campaña respectivamente. Las variables comunes en los tres monitoreos fueron: Caudal, pH, temperatura, conductividad, % de saturación de oxígeno, DBO, nitratos, nitritos, ortofosfatos y Coliformes totales.

Después del reescalamiento por medio de una regresión lineal de los datos, en la Tabla 103 se presentan los valores óptimos y de tolerancia con los que fueron escalonados para cada uno de los morfotipos que se encuentran presentes en las 31 estaciones y los tres muestreos en la cuenca del Río Negro y afluentes (Anexo ICE vegetación C1, C2 y C3). Estos valores se obtuvieron a partir de un promedio ponderado de las abundancias con relación a los valores reescalados que provienen de los análisis de los modelos CCA ejecutados, los cuales reúnen la mayor varianza explicada de la relación entre las variables ambientales y la abundancia de la vegetación acuática en las diferentes estaciones.



Tabla 26. Valores óptimos y de tolerancia de cada uno de los morfotipos de vegetación acuática registrados en los 31 puntos durante la primera (agosto 2020), segunda (noviembre 2020) y tercera (febrero 2021) campaña de monitoreo en en la Cuenca Río Negro y afluentes.

Campaña 1			Campaña 2			Campaña 3		
Morfotipo	Óptimo	Tolerancia	Morfotipo	Óptimo	Tolerancia	Morfotipo	Óptimo	Tolerancia
<i>Blechnum cf. cordatum</i>	2.96	1.99	<i>Blechnum cf. cordatum</i>	4.46	0.74	<i>Blechnum cf. cordatum</i>	3.04	1.17
<i>Ludwigia peruviana</i>	7.85	0.24	<i>Ludwigia peruviana</i>	6.62	1.81	<i>Ludwigia peruviana</i>	8.55	0.37
<i>Nepsera aquatica</i>	6.38	1.40	<i>Thunbergia alata</i>	4.57	1.07	<i>Thunbergia alata</i>	5.75	1.74
<i>Hyptis capitata</i>	4.75	2.27	<i>Ambrosia cumanensis</i>	7.08	0.86	<i>Ambrosia cumanensis</i>	7.80	1.12
<i>Thunbergia alata</i>	7.62	0.93	<i>Acmella brachyglossa</i>	6.55	2.65	<i>Acmella brachyglossa</i>	6.30	1.30
<i>Ambrosia cumanensis</i>	7.70	0.72	<i>Conyza bonariensis</i>	4.74	1.54	<i>Hydrocotyle Umbellata</i>	4.69	1.37
<i>Acmella brachyglossa</i>	7.49	0.34	<i>Hydrocotyle Umbellata</i>	6.14	1.54	<i>Polygonium nepalense</i>	5.89	1.62
<i>Polygonium nepalense</i>	6.09	1.21	<i>Polygonium nepalense</i>	7.12	0.98	<i>Polygonium hydropiperoides</i>	8.05	0.82
<i>Polygonium hydropiperoides</i>	8.08	0.33	<i>Polygonium hydropiperoides</i>	6.80	1.76	<i>Polygonium punctatum</i>	7.73	1.28
<i>Polygonium acuminatum</i>	9.59	0.46	<i>Polygonium punctatum</i>	6.88	1.24	<i>Polygonium acuminatum</i>	8.16	0.84
<i>Polygonium punctatum</i>	7.48	0.88	<i>Polygonium acuminatum</i>	5.34	1.16	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	9.79	0.44
<i>Stellaria media</i>	7.95	1.40	<i>Mimosa albida</i>	2.25	1.92	<i>Paspalum cf repens</i>	6.86	1.63
<i>Mimosa albida</i>	7.46	1.40	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	9.29	0.89	<i>Cynodon dactylon</i>	8.35	1.37
<i>Hemidiodia cf ocyimifolia</i>	7.95	1.40	<i>Paspalum cf repens</i>	5.86	1.72	<i>Pennisetum purpureum</i>	6.25	1.90
<i>Drymaria cordata</i>	9.48	1.40	<i>Cynodon dactylon</i>	1.71	2.10	<i>Cyperus digitatus</i>	8.94	1.37
<i>Paspalum cf. repens</i>	8.03	0.90	<i>Pennisetum purpureum</i>	5.38	1.22	<i>Commelina difusa</i>	7.43	2.18
<i>Cynodon dactylon</i>	7.90	1.56	<i>Gynerium sagittatum</i>	4.27	0.44	<i>Commelina sp.</i>	5.95	1.40
<i>Pennisetum purpureum</i>	8.13	0.97	<i>Cyperus digitatus</i>	8.09	1.54	<i>Eichhornia crassipes</i>	4.90	1.37
<i>Gynerium sagittatum</i>	6.02	1.17	<i>Panicum helobium</i>	3.95	1.54	<i>Hedychium coronarium</i>	2.65	1.66
<i>Panicum helobium</i>	7.69	1.40	<i>Commelina difusa</i>	5.18	0.64	<i>Egeria densa</i>	7.95	1.47
<i>Lolium multiflorum</i>	6.49	2.19	<i>Commelina sp.</i>	6.50	1.58	<i>Pistia cf. stratiotes</i>	3.51	1.37
<i>Commelina sp.</i>	8.16	1.87	<i>Eichhornia crassipes</i>	8.30	3.45	<i>Eleocharis elegance</i>	8.78	0.19
<i>Commelina difusa</i>	7.59	0.53	<i>Hedychium coronarium</i>	4.49	0.90	<i>Eleocharis minia</i>	6.30	1.37
<i>Potamogeton paramoanus</i>	4.12	1.64	<i>Egeria densa</i>	8.95	0.83	<i>Marathrum foeniculaceum</i>	4.42	2.80
<i>Potamogeton cf. Crispus</i>	6.46	1.49	<i>Pistia cf. stratiotes</i>	4.20	1.54	<i>Potamogeton paramoanus</i>	5.22	2.07
<i>Egeria densa</i>	7.90	0.96	<i>Eleocharis elegance</i>	5.66	1.78	<i>Potamogeton crispus</i>	7.66	1.29
<i>Eleocharis elegance</i>	7.15	2.56	<i>Marathrum foeniculaceum</i>	7.07	3.30	<i>Heterantera reniformis</i>	9.23	1.74
<i>Pistia stratiotes</i>	3.60	1.40	<i>Potamogeton paramoanus</i>	7.94	1.05	<i>Anthoxanthus odoratum</i>	8.63	1.37
<i>Cyperus digitatus</i>	1.82	4.66	<i>Heterantera reniformis</i>	10.00	1.54	<i>Platyhypnidium aquaticum</i>	3.26	1.06

Campaña 1			Campaña 2			Campaña 3		
Morfotipo	Óptimo	Tolerancia	Morfotipo	Óptimo	Tolerancia	Morfotipo	Óptimo	Tolerancia
<i>Hedychium coronarium</i>	1.72	2.45	<i>Anthoxanthus odoratum</i>	2.58	2.95			
<i>Croscomia aurea</i>	1.00	1.40						
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	7.59	1.40						
<i>Heterantera reniformis</i>	7.59	1.40						
<i>Hydrocotyle Umbellata</i>	8.12	1.40						

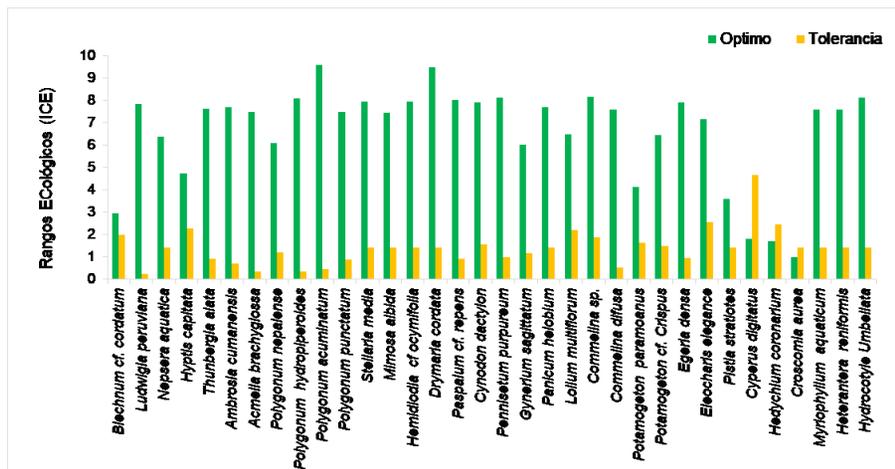


Figura 22. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de los morfotipos de vegetación acuática registrados en la Cuenca Río Negro y afluentes después del análisis de reescalonomiento en asociación con los modelos CCA. Campaña 1 (agosto 2020).

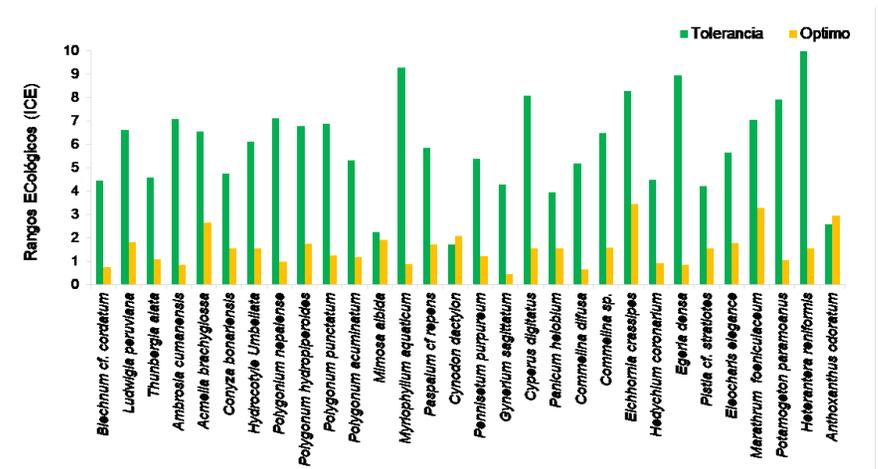


Figura 23. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de los morfotipos de vegetación acuática registrados en en la Cuenca Río Negro y afluentes después del análisis de reescalonomiento en asociación con los modelos CCA. Campaña 2 (noviembre 2020).

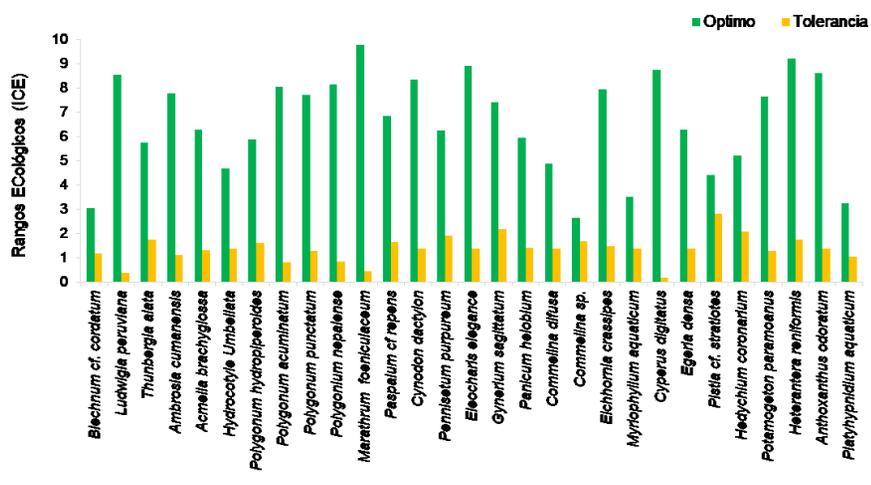


Figura 24. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de los morfotipos de vegetación acuática registrados en la Cuenca Río Negro y afluentes después del análisis de reescalamiento en asociación con los modelos CCA. Campaña 3 (febrero 2021).

La tendencia de los resultados en cuanto a los óptimos y tolerancias de los morfotipos en las tres campañas se observa en la Figura 1, donde diferentes taxones obtuvieron un valor óptimo por encima de 8, para la campaña 1 (Figura 22): *Polygonum hydropiperoides*, *Polygonum acuminatum*, *paspalum repens*, *Pennisetum purpureum*, *commelina sp.*, *Drymaria cordata*, *Hydrocotyle Umbellata* y *Egeria densa*. Para la campaña 2 (Figura 23): *Myriophyllum aquaticum*, *Cyperus digitatus*, *Eichhornia crassipes*, *Heteranthera reniformis* y *Egeria densa* y para la campaña 3 (Figura 24): *Ludwigia peruviana*, *Cynodon dactylon*, *Polygonum hydropiperoides*, *Polygonum acuminatum*, *Myriophyllum aquaticum*, *Cyperus digitatus*, *Heteranthera reniformis* y *Eleocharis elegance*. La frecuencia y abundancia de varias especies con altos óptimos corroboran que existe una buena adaptación a las condiciones ambientales de la Cuenca Río Negro y afluentes y en primera instancia son organismos que pueden brindar soporte al seguimiento del comportamiento de la misma.

Adicionalmente, estos taxones que presentaron altos óptimos y a su vez baja tolerancia, indican sensibilidad a la amplitud del rango ambiental y por esta razón podrían ser considerados como bioindicadores del gradiente ambiental en el sistema estudiado, finalmente al combinar ambas observaciones estos taxa fueron: *Polygonum hydropiperoides*, *Polygonum acuminatum*, *paspalum repens*, *Pennisetum purpureum*, *Commelina difusa*, *Egeria densa*, *Myriophyllum aquaticum*, *Ludwigia peruviana* y *Eleocharis elegance*.

Los morfotipos mencionados se alternaron entre las tres campañas y en su mayoría corresponden a herbazales que viven a orilla de zonas pantanosas, como es el caso de *Polygonum hydropiperoides*, que es menos común en la cuenca y *Polygonum acuminatum*, y *Paspalum cf. repens*, especies presentes en la gran mayoría de estaciones monitoreadas, esto se debe probablemente a que son especies de reproducción y dispersión rápida, que se adaptan a condiciones de humedad y periodos de sequía y los cambios en las diferentes épocas, el incremento de sus coberturas pueden indicar cambios en la calidad de la cuenca (Díaz-Espinosa et al., 2012). *Ludwigia peruviana* por su parte, es un arbusto semiacuático, común en zonas alteradas, por lo tanto, su presencia o ausencia en algunas estaciones de muestreo puede determinar cambios en la calidad del agua, al igual que *Commelina difusa*, que igualmente es común en áreas perturbadas húmedas, en las orillas de ríos y quebradas (Posada García & López Muñoz, 2011).

Egeria densa es un taxón importante para hacer seguimiento en épocas contrastantes, ya que el incremento de nutrientes permite un amplio desarrollo (Posada García & López Muñoz, 2011). Así mismo, especies como *Myriophyllum aquaticum* que es particular de las estaciones de muestreo Puente la feria (E27) y Casa mía (E15), puede ser una planta invasiva debido a que crece considerablemente y puede ayudar a generar procesos de colmatación, el seguimiento de las coberturas de esta especie es importante para identificar cambios en la dinámica de las fuentes de agua (Posada García & López Muñoz, 2011). *Eleocharis elegance*, es una planta herbácea, acuática, enraizada y emergente, que crece en bordes de cuerpos de agua en zonas intervenidas con vegetación secundaria, lo cual puede indicar cambios en las condiciones del cuerpo de agua según los cambios en el porcentaje de cobertura. Estos taxones deberían ser de considerable atención en cuanto a su grado de ocurrencia y abundancia en futuros monitoreos con el propósito de identificar cambios en el gradiente ambiental de la Cuenca Río Negro y afluentes

En la Tabla 27 y Figura 25 se presentan los resultados del índice para cada estación y muestreo ejecutado. Tal como se orientó desde el rees-calোনamiento, los valores oscilan desde 1 hasta 10, siendo los menores valores asociados a una condición crítica en cuanto a la calidad ecológica para el desarrollo de la vegetación acuática registrada en la Cuenca Río Negro y afluentes; en contraste, los valores mayores corresponden a una buena calidad ecológica.

Tabla 27. Valores del índice de calidad ecológica en la Cuenca Río Negro y afluentes por estación y campaña de muestreo (C1: agosto 2020, C2: noviembre 2020 y C3: febrero 2021).

Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código de estación	Índice de calidad ecológica		
			Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3
Río Negro	El Hierbal	E1	6.42	5.31	5.30
	Montenevado	E2	6.11	6.72	5.55
	Charco Manso	E3	8.06	5.46	7.12
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	7.76	5.61	7.00
	Puente Real	E5	8.00	5.14	7.04
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	7.96	6.05	7.35
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	8.09	6.22	7.50
	Puente Autopista	E8	7.06	5.72	6.77
	La Fresera	E9	7.70	6.41	7.76
	Río Abajo	E10	8.04	5.77	7.76
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	8.34	6.90	6.47
	San Sebastián	E12	8.45	7.13	6.77
	Manzanares	E13	8.09	6.22	7.12
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	8.12	7.33	8.13
	Casa Mia	E15	8.22	6.80	8.02
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	5.69	5.18	5.19
	Flor Silvestre	E17	7.79	5.06	6.72
	Coltepunto	E18	7.71	6.33	6.74
	Puente Vía El Tranvía	E19	6.66	6.24	6.97
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	2.11	5.53	3.84
	Puente Molino	E21	5.05	6.11	5.54



Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código de estación	Índice de calidad ecológica		
			Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3
	Box Couvert Km.26	E22	7.47	6.60	6.09
	Omya	E23	7.98	7.40	6.62
	Riotex	E24	7.21	5.34	7.53
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	7.44	7.07	6.72
	El Chagualo	E26	7.68	6.36	6.78
	Puente La Feria	E27	6.96	8.15	8.45
	Alcaravanes	E28	7.99	6.42	7.73
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	6.84	3.61	5.36
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	7.83	6.83	5.95
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	8.06	5.32	7.78

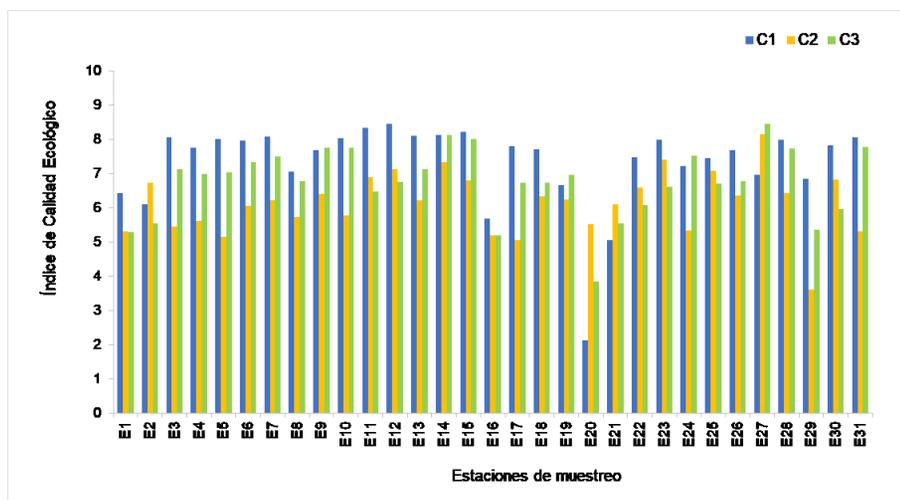


Figura 25. Distribución del índice de calidad ecológica basado en la vegetación acuática en las tres campañas de monitoreo en la cuenca del Río Negro y afluentes. C1 (agosto 2020), C2 (noviembre 2020) y C3 (febrero 2021).

En la Figura 25 se presenta la distribución del ICE para la Cuenca Río Negro y afluentes en las 31 estaciones de muestreo, en la campaña 1, que corresponde a transición de época seca a lluvias, se observó que para 23 de las 31 estaciones, presentó los valores más altos del índice, destacándose E7 que corresponde a después de la descarga PTAR Rionegro, E11 (Las acacias), E12 (San Sebastián), E13 (Manzanares), E14 (Bocatoma inactiva Rionegro), E15 (Casa mía) y E31 (compañía abajo), estaciones con coberturas considerables del género *Commelina*, *Paspalum repens*, *Penisetum purpureum* y con incrementos de los valores de fósforo total, nitratos carbono orgánico total (COT), que determinan baja calidad del agua y un considerable incremento de nutrientes que favorece las altas coberturas de plantas acuáticas.

Por el contrario E1 (El Hierbal), E2 (Montenevado), E20 (Romeral), E21 (Puente Molino), E16 (puente larga) y E29 (Puente colegio Guillermo Gaviria) tiene los valores más bajos del ICE para la campaña 1, probablemente porque estos lugares tuvieron una baja concentración de nutrientes y tienen en común especies como *Potamogeton paramoanus*, *Nepsera aquatica*, *Blechnum cf. cordatum*, entre otras, relacionadas con buena calidad de las fuentes de agua y no hay unas coberturas considerables de plantas acuáticas.

La campaña 2, correspondiente a época de lluvias, se caracterizó por tener los valores más bajos del ICE destacándose E27 (Puente La feria), E23 (Omya), E14 (Bocatoma inactiva Rionegro), con presencia principalmente de *Polygonum acuminatum* e incremento en concentraciones de NO₂ y NO₃, lo cual, probablemente favorece el desarrollo de amplias coberturas, por el contrario las estaciones E1 (El Hierbal), E2 (Montenevado), E20 (Romeral), E21 (Puente Molino), E29 (Puente colegio Guillermo Gavi-ria) y E31 (compañía abajo), caracterizadas por altas concentraciones de oxígeno disuelto y pH ácidos.

La campaña 3 correspondiente a aguas bajas, donde la disminución de caudal y la dilución de nutrientes disminuye tuvo los máximos valores de ICE en las estaciones E9 (La Fresera), E10 (Rio abajo), E14 (Bocatoma inactiva Rionegro), E15 (Casa mía, E27 (Puente La Feria), E28 (Alcaravanes), E31 (compañía abajo), en estas estaciones hubo un comportamiento similar relacionados con alcalinidad, nitritos y ortofosfatos, que al incrementarse pueden favorecer el desarrollo de mayores coberturas, igualmente, se caracterizan por la presencia de *Eichhornia crassipes* y *Polygonum acuminatum*. Los valores más bajos del índice de calidad ecológica se presentaron en: E1 (El Hierbal), E2 (Montenevado), E20 (Romeral), E21 (Puente Molino), E16 (Puente Larga) relacionado con incrementos en el oxígeno disuelto, disminución de SST (sólidos suspendidos totales) y presencia de especies como *Blechnum cf. cordatum*, *Gynerium sagittatum*, entre otros.

Luego de aplicar los valores expuestos anteriormente para el cálculo de la ecuación que define el índice, se obtuvo un análisis de agrupamiento en el cual se presenta la distancia de tres grupos que definen el escalamiento del índice (Tabla 105 y Tabla 106). Al obtener el agrupamiento de las diferentes estaciones por medio del índice en las tres campañas se observan algunos patrones.

Tabla 28 Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto 2020), campaña 2 (noviembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Grupo	Campaña 1		Campaña 2		Campaña 3	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Grupo 1	6.11	7.21	3.61	5.77	3.84	6.09
Grupo 2	7.44	8.45	6.60	8.15	6.47	7.12
Grupo 3	2.11	5.69	6.05	6.42	7.35	8.45

Tabla 28. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto 2020), campaña 2 (noviembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

En la campaña 1 (Figura 30) los valores más bajos del ICE que hacen parte del grupo 3 integran las estaciones E16 (puente larga) que hace parte de la quebrada La Cimarrona en el municipio de El Carmen de Viboral, E20 (Romeral), E21 (Puente Molino), que se encuentran en la quebrada La Mosca, estas estaciones se caracterizan por sus buenas condiciones de calidad del agua, sin incrementos considerables de nutrientes y el desarrollo de vegetación acuática y riparia con bajas coberturas se puede explicar porque el índice es más bajo ya que no se presentan las condiciones para un amplio desarrollo de plantas acuáticas. El grupo 2 con los valores de ICE más altos (En azul) todas las estaciones de la quebrada La Pereira (E11, E12, E13, E14 y E15), esta condición se presenta probablemente por la entrada de materia orgánica producto de vertimientos y de descargas de la PTAR del municipio de La Ceja, también para el Río Negro las estaciones: E3, E4, E5, E6, E7, E9 y E10, tienen condiciones de dominancia de algunas especies con altas coberturas, estas zonas se caracterizan por cercanías de asentamientos humanos y descarga de la PTARD del municipio de Rionegro.

Así mismo E22, E23, de la quebrada La Mosca y afectadas por la descarga de la PTARD del municipio de Guarne, también, E25, donde está la estación de bombeo de aguas residuales en la quebrada La Marinilla y E28 donde aguas arriba descarga la PTARD del municipio de Santuario y la PTARD del municipio de Marinilla. El grupo 2 se caracteriza por descargas de aguas residuales, aumento de nutrientes y amplias coberturas en plantas acuáticas dominantes. Finalmente, el grupo 1 con valores medios del





Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código de estación	C1	C2	C3
Río Negro	El Hierbal	E1	6.42	5.31	5.30
	Montenevado	E2	6.11	6.72	5.55
	Charco Manso	E3	8.06	5.46	7.12
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	7.76	5.61	7.00
	Puente Real	E5	8.00	5.14	7.04
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	7.96	6.05	7.35
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	8.09	6.22	7.50
	Puente Autopista	E8	7.06	5.72	6.77
	La Fresera	E9	7.70	6.41	7.76
	Río Abajo	E10	8.04	5.77	7.76
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	8.34	6.90	6.47
	San Sebastián	E12	8.45	7.13	6.77
	Manzanares	E13	8.09	6.22	7.12
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	8.12	7.33	8.13
	Casa Mia	E15	8.22	6.80	8.02
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	5.69	5.18	5.19
	Flor Silvestre	E17	7.79	5.06	6.72
	Coltepunto	E18	7.71	6.33	6.74
	Puente Vía El Tranvía	E19	6.66	6.24	6.97
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	2.11	5.53	3.84
	Puente Molino	E21	5.05	6.11	5.54
	Box Couvert Km.26	E22	7.47	6.60	6.09
	Omya	E23	7.98	7.40	6.62
	Riotex	E24	7.21	5.34	7.53
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	7.44	7.07	6.72
	El Chagualo	E26	7.68	6.36	6.78
	Puente La Feria	E27	6.96	8.15	8.45
	Alcaravanes	E28	7.99	6.42	7.73
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	6.84	3.61	5.36
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	7.83	6.83	5.95
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	8.06	5.32	7.78

ICE integra E1, E2, en el Río Negro en el municipio de El Retiro, E8 (Puente Autopista), E19 (Puente Vía El Tranvía) en la quebrada La Cimarrona, E24 (Riotex) en la quebrada La Mosca, E29 (Puente Colegio Guillermo Gaviria), en la quebrada Yarumal, E31 (Compañía abajo), en la quebrada El Salado, ese grupo se caracteriza por tener condiciones intermedias de calidad del agua, es un grupo que requiere especial atención porque puede incrementar la dominancia y la cobertura de plantas acuáticas si se incrementan los vertimientos y demás intervenciones antrópicas.

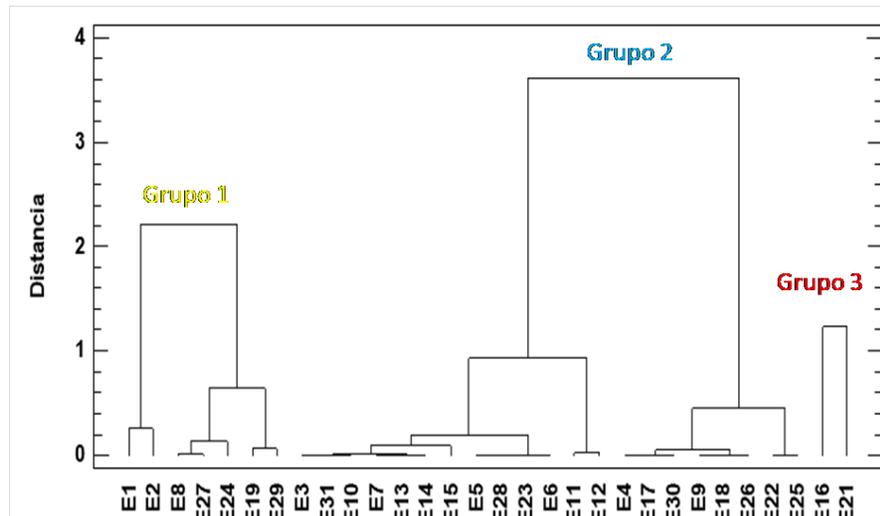


Figura 26. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto 2020). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

En la campaña 2 (Figura 27), se incrementan las estaciones integradas en el grupo 1 (rojo), no hay condiciones para un amplio desarrollo de macrófitas acuáticas, en el río Negro agrupa E1, E3, E4, E5, E8, E10, E16, que hace parte de la quebrada La Cimarrona en el municipio del Carmen de Viboral, E17 de la quebrada La Cimarrona, E20 y E24, de la quebrada La Mosca E29 de la quebrada Yarumal y E31 de la quebrada El Salado. Esta condición particular de ausencia de grandes coberturas de plantas acuáticas e incluso disminución de taxones se debe posiblemente a incrementos de nivel y de caudal, disminución de la transparencia, lo cual

dificultaba el establecimiento de coberturas considerables de plantas acuáticas. El grupo 2 como podemos ver en la figura 3 grupo B (azul) integra las estaciones con las condiciones más favorables para el desarrollo de macrófitas en esta campaña E2, del Río Negro, E11, E12, E14, E15, de la quebrada La Pereira, E22 y E23, de la quebrada La Mosca E25 y E27 de la quebrada La Marinilla y E30 de la quebrada Chachafruto. Finalmente, el grupo con condiciones intermedias en el índice de calidad ecológica es el grupo 2 (amarillo) que incluye las estaciones: E6, E7, E9, del Río Negro, E13, quebrada La Pereira E18 y E19 de la quebrada La Cimarrona, E21, quebrada La Mosca, E26 y E28 de la quebrada La Marinilla.

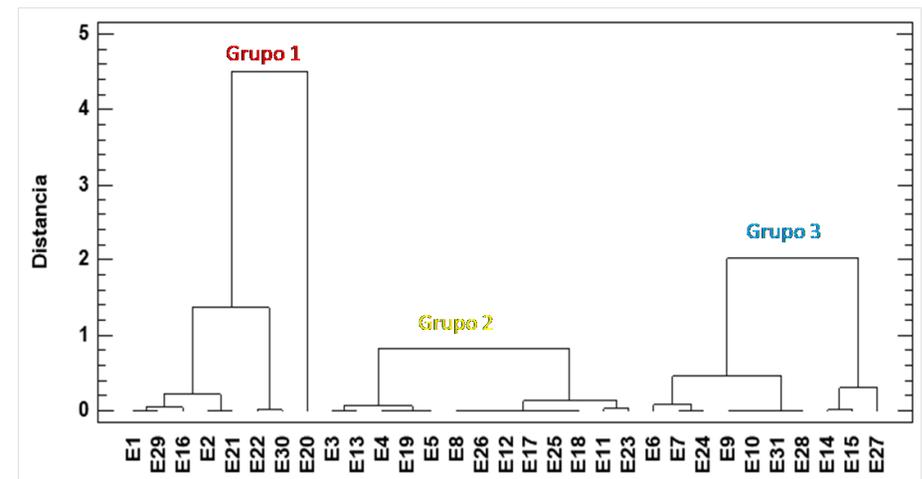


Figura 27. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 2 (noviembre 2020). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

En la campaña 3 de aguas bajas (Figura 28), el grupo 1 (rojo) con los valores más bajos del ICE los presentó: E1, E2, E16, E20, E21, como ya se ha mencionado, son estaciones con buenas condiciones de calidad transparencia, oxigenación, ausencia de remansos o pocetas donde puedan desarrollarse plantas acuáticas, E22 (Box Coulvert) por el tipo de construcción que aumenta la velocidad de corriente, no permite amplio desarrollo de plantas acuáticas, E29 y E30 donde las condiciones correspondientes al gradiente ambiental no favorecen el establecimiento de macrófitas en



esta época. El grupo 2 con ICE con valores medios corresponde a las estaciones E6, E7, E9, correspondientes a Río Negro, E13 de la quebrada La Pereira, E18, E19 de la quebrada La Cimarrona y E21 de la quebrada La Mosca, estas estaciones tienen en común que no tienen un considerable desarrollo de macrófitas, pero si tienen condiciones para desarrollarlas y son estaciones a las que se debe hacer seguimiento para evitar que empeoren las condiciones. El grupo 3 que tuvo las condiciones favorables para el desarrollo de plantas acuáticas agrupo las estaciones: E6, E7 E9, E10 del Río Negro, E14, E15 de la quebrada La Pereira, E24 de la quebrada La Mosca, E27, E28 de la quebrada La Marinilla y E31 de la quebrada El Salado caracterizadas por altas concentraciones de nutrientes, presencia de aguas residuales, altos caudales y formación de remansos o pocetas que permiten el establecimiento de macrófitas.

Finalmente se analizó la relación entre el índice de calidad ecológica con las variables fisicoquímicas que fueron admitidas en los modelos de correlaciones canónicas en cada campaña, las cuales se presentan en la Tabla 30. Al revisar el listado de las variables que fueron admitidas en los modelos de CCA se observaron relaciones significativas y/o por encima de 0.5 para la campaña 1 con las variables: DQO, por lo tanto al incrementarse esta variable aumenta el valor del ICE lo que explica la presencia de vertimientos y materia orgánica en las estaciones consideradas con alto índice ICE y una correlación inversa significativa con el porcentaje de saturación de oxígeno, donde al aumentar el ICE disminuye la saturación de oxígeno probablemente por el consumo de oxígeno debido al aumento de la cobertura de plantas acuáticas.

En la campaña 2 correspondiente a época de lluvias, los nitratos NO₃ fueron estadísticamente significativos en la correlación con el ICE es decir que al incrementar el valor del índice se incrementan los nitritos que son nutrientes limitantes en los sistemas acuáticos y que favorecen el desarrollo de plantas acuáticas.

Por último para la campaña 3 correspondiente a época seca, presentó los mayores porcentajes de cobertura de plantas acuáticas, incrementándose el ICE con relación a las variables: Caudal, ya que al disminuir el caudal se pueden desarrollar e incluso muestrear y determinar mejor la cobertura de las macrófitas, la temperatura y la conductividad eléctrica CE igualmente favorecen el desarrollo de plantas acuáticas y el incremento del ICE al igual que los nutrientes como PO₄ y NO₃ (ortofosfatos solubles y nitratos), también observamos en la tabla 3 una correlación inversa con el oxígeno disuelto, es decir al incrementarse el ICE disminuye el oxígeno disuelto (Tabla 30).

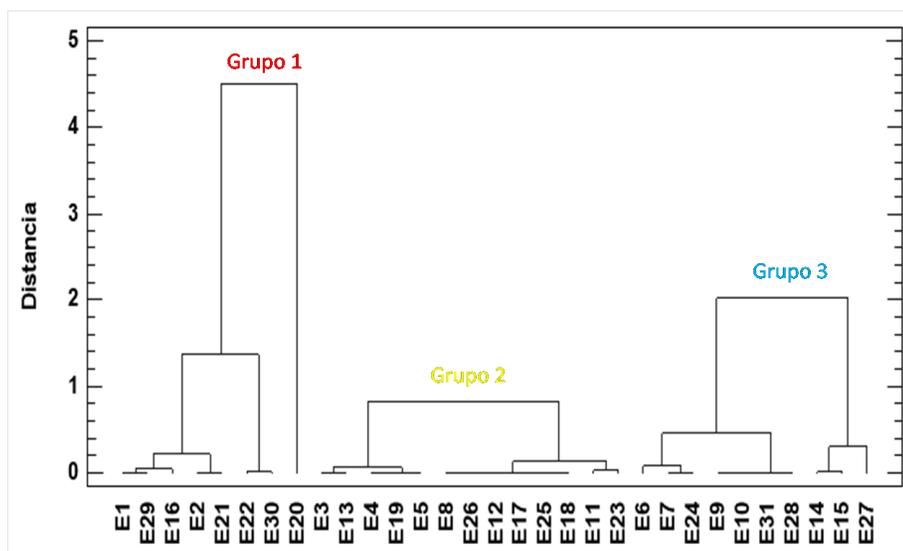


Figura 28. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológica en la Cuenca Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Tabla 30. Coeficientes de correlación de Spearman (r) entre el índice de calidad ecológica y las variables ambientales incluidas en los modelos de análisis de correlaciones canónicas (CCA) de las tres campañas de monitoreo en la Cuenca Río Negro y afluentes.

Variable ambiental	Campaña 1		Variable ambiental	Campaña 2		Variable ambiental	Campaña 3	
	r	Valor p		r	Valor p		r	Valor p
Caudal (L/s)	0,2	0,37	Caudal (L/s)	0,0	0,89	Caudal (L/s) *	0,4	0,02
pH	-0,2	0,29	pH	0,2	0,40	pH	-0,1	0,54
Temperatura (°C)	0,1	0,72	Temperatura (°C)	0,0	0,85	Temperatura (°C) *	0,6	0,00
Conductividad eléctrica	0,0	0,31	Conductividad eléctrica	0,2	0,24	Conductividad eléctrica*	0,4	0,02
Saturación de oxígeno (%) *	-0,6	0,00	Oxígeno disuelto (mg/L)	-0,3	0,13	Oxígeno disuelto* (mg/L)	-0,5	0,00
DBO5 (mg/L)	0,2	0,20	Saturación de oxígeno (%)	-0,3	0,08	DBO5 (mg/L) *	0,4	0,02
DQO (mg/L) *	0,5	0,01	DBO5 (mg/L)	0,2	0,36	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0,2	0,36
Fósforo total (mg/L)	0,2	0,20	DQO (mg/L)	-0,1	0,68	Sólidos totales (mg/L)	0,2	0,30
Nitratos (mg/L)	0,3	0,16	Nitrógeno amoniacal solubles (mg/L)	-0,2	0,26	Nitratos (mg/L) *	0,5	0,01
Nitritos (mg/L)	0,3	0,07	Fósforo total (mg/L)	0,1	0,69	Turbiedad (UNT)	0,3	0,16
Ortofosfatos solubles (mg/L)	-0,2	0,28	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	-0,3	0,16	Alcalinidad total (mg/L)	0,0	0,97
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	0,0	0,81	Sólidos totales (mg/L)	-0,1	0,60	Nitritos (mg/L)	0,3	0,14
E. Coli (NMP)	0,0	0,91	E. Coli (UFC)	-0,2	0,25	Ortofosfatos solubles (mg/L) *	0,4	0,05
Coliformes totales (NMP)	0,1	0,74	Coliformes totales (UFC)	-0,2	0,20	Coliformes totales (NMP)	0,2	0,35
Carbono orgánico total (mg/L)	0,1	0,64	Nitratos (mg/L) *	0,4	0,02	Manganeso (mg/L)	-0,1	0,78
Color real (λ=525)	0,0	0,79	Turbiedad (UNT)	0,0	0,90	Color real (λ=436) *	0,5	0,01
Color real (λ=620)	0,0	0,93	Alcalinidad total (mg/L)	0,3	0,11			
Betex (µg/L)	-0,2	0,20	Nitritos (mg/L)	0,2	0,32			
			Ortofosfatos solubles (mg/L)	0,0	0,80			
			E. coli (NMP)	-0,1	0,65			
			Coliformes totales (NMP)	-0,1	0,43			
			Carbono orgánico total (mg/L)	0,2	0,32			
			Color real (λ=525)	-0,2	0,36			
			Color real (λ=620)	-0,2	0,30			
			Betex (µg/L)	-0,1	0,51			

*Variables con el coeficiente de correlación de Spearman (r) ≥ 0.05 .





PECES



Introducción



PECES

Se ha considerado que Colombia puede ser el país con mayor riqueza de especies de agua dulce por área geográfica a nivel mundial debido a la diversidad y singularidad de sus zonas hidrográficas (Maldonado-Ocampo, 2005) y la heterogeneidad de las variables físicas y químicas que, presentes en dichos ecosistemas, propician la ocurrencia de una alta diversidad biológica, tales como vertebrados, invertebrados, protozoos, algas, plantas y bacterias. El país posee una de las ictiofaunas dulceacuícolas de mayor diversidad del mundo y muchas de las especies tienen algún tipo de importancia (Mojica, C. Castellanos, 2002). Esta gran diversidad está relacionada con la topografía del territorio colombiano, atribuido principalmente al levantamiento de los Andes apareciendo los grandes ríos que drenan los suelos arrastrando sedimentos más fértiles provenientes de la cordillera formando planicies aluviales, sujetas a inundaciones periódicas. La fertilidad de las aguas dispuso una enorme y variada oferta alimenticia, que generó una multitud de hábitat que dio lugar a nuevas especies (Frezel, 1996).

Las comunidades de peces presentan algunas ventajas sobre otros grupos biológicos para evaluar un ecosistema dulceacuícola: existe información acerca de la historia de vida de la mayoría de las especies, además las comunidades ícticas incluyen una gran variedad de especies que ejemplifican a varios niveles tróficos y fuentes de alimentación, tanto terrestres como acuáticos; su posición alta en las cadenas tróficas en comparación con algunos invertebrados y diatomeas permite una visión integral del ambiente acuático; son relativamente fáciles de identificar y pueden evaluarse efectos de toxicidad (ausencia de algunas especies) y estrés (crecimiento deprimido, bajo éxito reproductivo) (Frezel, 1996).

La estructura de las comunidades de peces se encuentra determinadas por las condiciones y por los recursos disponibles dentro de un hábi-

tat. Generalmente, una comunidad que se encuentra establecida dentro de un cierto hábitat se compone de organismos que pueden tolerar, competir, persistir, resistir y reproducirse dentro del mismo, haciendo uso de los recursos disponibles. Si su hábitat se caracteriza por presentar las condiciones que son aceptables dentro de límites permisibles y provee todos los recursos necesarios para una especie dada, la especie tiene capacidad potencial de existir en él, pues en nicho ecológico, es adecuado (Stanford, L. Loeb, 1994) si los recursos o condiciones se ven alterados, también se verá afectada la capacidad de la especie de presentarse en el hábitat.

Los peces al ser los organismos más grandes dentro de los ecosistemas acuáticos, constituyen el eslabón más importante dentro de las cadenas tróficas porque concentran la energía al consumir otros organismos dentro del ecosistema, a su vez son fuente de alimento para animales terrestres y contribuyen en la seguridad alimentaria de los humanos.

Se presentan los resultados descriptivos a nivel espacial de la composición taxonómica, diversidad y abundancia del componente íctico; producto de las tres campañas de muestreo en septiembre 2020, diciembre 2020 y febrero 2021. Se muestrearon 31 estaciones correspondientes a ocho fuentes de agua (Río Negro, quebradas La Pereira, La Cimarrona, La Mosca, La Marinilla, Yarumal, Chachafruto y El Salado). Los resultados se presentan para aquellas estaciones donde se reportó fauna acuática. Es importante mencionar que no se reportaron capturas en ninguna de las tres campañas en la fuente hídrica Yarumal, estación Puente Colegio Guillermo Gaviria (E29).

Composición taxonómica del ensamble

La composición taxonómica para las tres campañas de muestreo estuvo conformada por 993 individuos agrupados en 10 especies, nueve géneros, ocho familias y seis órdenes taxonómicos; todos pertenecientes al phylum chordata y clase actinopterygii. En la Tabla 32, se observa que hubo presencia de la mayoría de las especies en las tres campañas, sin embargo, es importante saber que hubo ausencia de especies como *Isorineloricaria tenuicauda* en las dos últimas campañas y de *Brycon amazonicus* y *Kronoheros umbrifer* en las dos primeras campañas de muestreo.

Tabla 32. Composición taxonómica general de la fauna íctica registrada. Durante tres campañas de muestreo.

Reino Animalia							
Phylum Chordata							
Clase Actinopterygii							
Orden	Familia	Género	Especie	Nombre común	C1	C2	C3
Characiformes	Characidae	Brycon	<i>Brycon henni</i>	Sabaleta	X	X	X
			<i>Brycon amazonicus</i>	Yamú			X
		Hemibrycon	<i>Hemibrycon antioquiae</i>	Sardina	X	X	X
Cichliformes	Cichlidae	Geophagus	<i>Geophagus steindachneri</i>	Mula	X	X	X
Cypriniformes	Cyprinidae	Cyprinus	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	X	X	X
Cyprinodontiformes	Poeciliidae	Poecilia	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	X	X	X
Perciformes	Centrarchidae	Micropterus	<i>Micropterus salmoides</i>	Trucha bass	X	X	X
	Cichlidae	Kronoheros	<i>Kronoheros umbrifer</i>	Mojarra negra			X
Siluriformes	Loricariidae	Isorineloricaria	<i>Isorineloricaria tenuicauda</i>	Coroncoro	X		
	Trichomycteridae	Trichomycterus	<i>Trichomycterus chapmani</i>	Briola	X	X	X

Con respecto a la abundancia general, se tiene que la sardina *Hemibrycon antioquiae* fue la más abundante en las tres campañas de muestreo, seguida del guppy *Poecilia reticulata*. Por el contrario, especies como la mojarra negra *Kronoheros umbrifer*, el coroncoro *Isorineloricaria tenuicauda* y el yamú *Brycon amazonicus* fueron las menos abundantes y menos frecuentes en todo el muestreo (Figura 30).

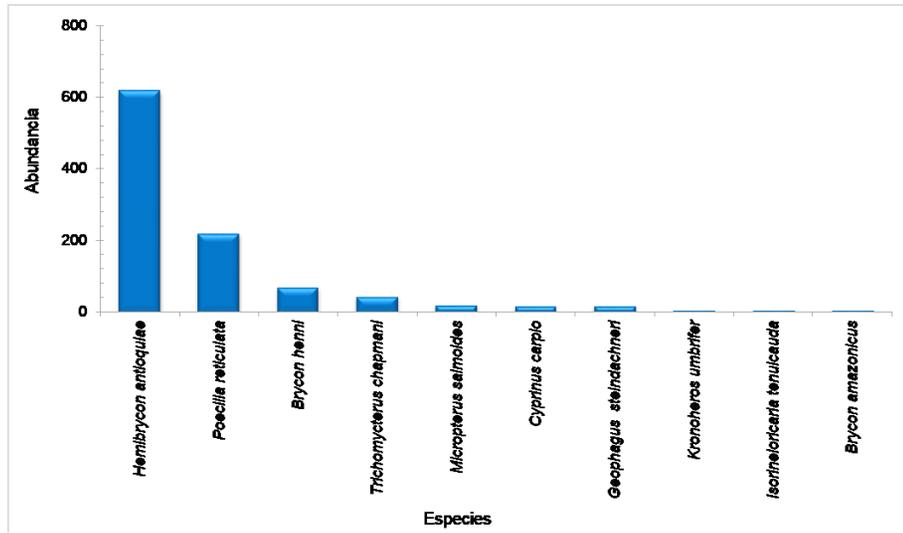


Figura 30. Distribución total de la abundancia de las especies de la fauna íctica reportadas. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

Por otro lado, se muestrearon 31 fuentes de agua en cada campaña, donde se obtuvo reporte de peces en 28 de ellas. No hubo reporte de fauna íctica en Río Negro; estación Charco Manso (E3), estación Bocatoma Municipio de Rionegro (E4), estación después de descarga PTARD (E7); estación Puente Autopista (E8), quebrada La Pereira, estación San Sebastián (E12), quebrada La Cimarrona; estación Flor silvestre (E17), quebrada La Mosca; estación Riotex (E24) y en la quebrada Yarumal; estación Puente Colegio Guillermo Gaviria (E29).

En términos de abundancia por orden taxonómico; el ensamblaje fue dominado por el orden *Characiformes* (69.08%) con 686 individuos, seguido de *Cyprinodontiformes* (21.85%) es decir, 217 individuos. Le sigue el orden *Siluriformes* (4.23%) con 42 individuos en total, para las tres campañas muestreadas. El orden *perciforme* ocupó el 2.01% con 20 individuos. El resto

de ordenes (*Cichliformes* y *Cypriniformes*) ocuparon en su conjunto el 2.82 %; donde no se registraron más de 14 individuos para cada orden.

La riqueza de especies, estuvo mejor representada por el orden *Characiformes* que aportó tres especies al ensamblaje como la sabaleta *Brycon henni* ocupando el 6.85%; esta una especie endémica de Colombia, importante para la seguridad alimentaria de los pobladores ribereños de los cuerpos de agua que habita, además de ser el principal recurso pesquero en algunas zonas (EPM, 1998), la sardina *Hemibrycon antioquiae* con el 62.13% y el yamú *Brycon amazonicus* (0.10%). El orden *Perciformes* aportó dos especies al ensamble tales como *Kronoheros umbrifer* (80.30%) y *Micropterus salmoides* (1.71%). Así mismo el orden *Siluriformes* aportó dos especies *Isorineloricaria tenuicauda* (0.10%) y *Trichomycterus chapmani* (4.13%). El resto de ordenes aportaron tan solo una especie al ensamble (Figura 31).

Los resultados reflejan que el mayor número de especies reportadas en el área de estudio corresponden al orden *Characiformes*, los cuales agrupan la mayoría de especies válidas para el continente americano (Nelson, Grande, & Wilson, 2016). Con los datos obtenidos de los muestreos realizados en las tres campañas de muestreo, se construyó la gráfica de riqueza y abundancia por orden taxonómico.

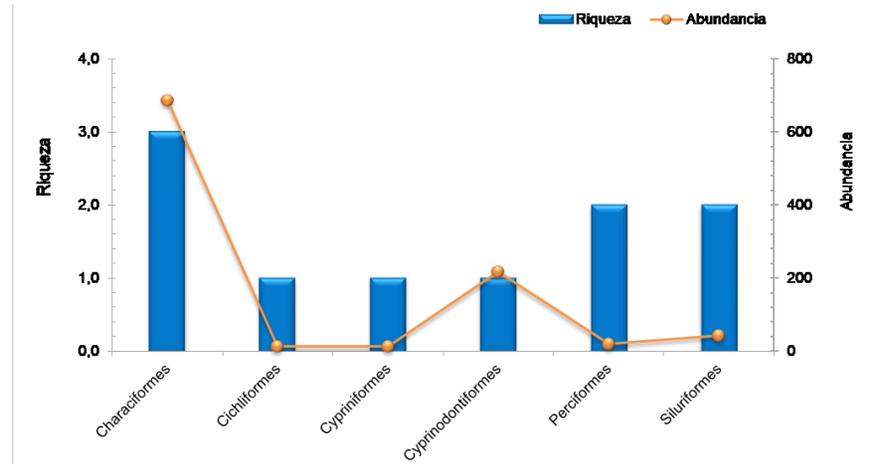


Figura 31. Riqueza y abundancia general por orden taxonómico de la fauna íctica registrada. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).



Los reportes indican que la familia *characidae*, del orden *Characiformes* fue la que mayor aporte realizó al ensamble. Especies de esta familia constituyen un importante componente de la pesca comercial y de subsistencia en los sistemas de agua dulce de Sur América. Habitan ríos, quebradas y ciénagas. Como es el caso de la sabaleta *Brycon henni* que, aunque no fue tan frecuente como la sardina *Hemibrycon antioquiae*, esta especie es de suma importancia en la pesca local. Sobresale localmente por su uso/aprovechamiento y particular historia de vida en sistemas de alta montaña. La captura de esta especie no es solo un atractivo para la pesca deportiva, adicionalmente hace parte de la dieta local de autoconsumo como fuente alternativa de proteína animal (Montoya-lópez et al., 2006). Esta especie fue reportada durante tres campañas de muestreo en las fuentes El Salado en la estación Compañía Abajo (E31) y La Marinilla específicamente en estaciones como El Chagualo (E26) y La Amistad (E25) (Figura 32).

Estructura del ensamble

Distribución de la abundancia de taxones general

En términos de abundancia los seis órdenes taxonómicos (*Characiformes*, *Cichliformes*, *Cypriniformes*, *Cyprinodontiformes*, *Perciformes* y *Siluriformes*) estuvieron presentes en las tres campañas (Tabla 59).

En la primera campaña correspondiente al muestreo del septiembre de 2020, en términos de abundancia el ensamblaje lo domino el orden *Characiformes* con el 46.5%, seguido de *Cyprinodontiformes* con el 42.9%, *Siluriformes* 5.5%, *Perciformes* 2.1%, *Cichliformes* 1.8% y *Cypriniformes* 1,2%. En la segunda campaña en diciembre 2020, el ensamblaje lo domino de nuevo el orden *Characiformes* con el 79.1%, seguido de *Cyprinodontiformes* con el 15.5%, *Siluriformes* 2.4%, *Perciformes* 1.5%, *Cichliformes* 1.2% y *Cypriniformes* 0.3%. Finalmente, en la tercera campaña en febrero 2021, el ensamble se comportó similar a las campañas anteriores, siendo el orden *Characiformes* el que mayor aporte realizó con el 81.5%, seguido de *Cyprinodontiformes* con el 7.3%, *Siluriformes* 4.9%, *Cypriniformes* 2.7%, *Perciformes* 2.4%, *Cichliformes* 1.2%.

Por otro lado, el promedio por campaña estuvo representado entre 15 y 16 individuos. En la campaña 1 la abundancia osciló entre 1 y 78 individuos, en la campaña 2 entre 3 y 71, siendo esta campaña la que reportó

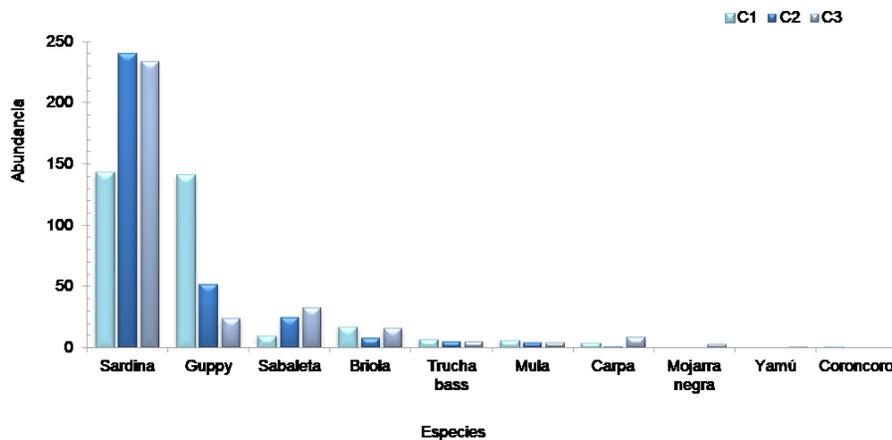


Figura 32. Abundancia de las especies de la fauna íctica reportadas. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).



mayor cantidad de peces. Finalmente, la abundancia en campaña 3 oscilo entre 1 y 81 individuos.

Las estaciones con mayor aporte al ensamble, fueron La Amistad (E25) de la quebrada La Marinilla con 146 individuos seguido de la estación Casa Mia (E15) de la Quebrada La Pereira con 107 individuos las dos estaciones con reporte principalmente de la sardina *Hemibrycon antioquiae* y la estación Coltepunto (E18) de la quebrada La Cimarrona con 102 individuos del guppy *Poecilia reticulata*. Contrario a las estaciones Montenevado (E2) y La Fresera (E9) del Río Negro con uno y dos individuos de *Hemibrycon antioquiae* respectivamente (Tabla 33).

Tabla 33. Distribución de la abundancia de la fauna íctica por estación. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

Fuente Hídrica	Estación de Muestreo	Código Estación	C1	C2	C3	Total
Río Negro	El Hierbal	E1	12	3	8	23
	Montenevado	E2	1			1
	Puente Real	E5	27	50	4	81
	Puente Antes EBAR	E6		10	6	16
	La Fresera	E9	1		1	2
	Río Abajo	E10	9	5	4	18
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	44	17	18	79
	Manzanares	E13	6	7	8	21
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	14	11	32	57
	Casa Mia	E15	6	71	30	107
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	19	13	3	35
	Coltepunto	E18	78	24		102
	Puente Vía El Tranvía	E19	14	8	6	28
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	10	10	21	41
	Puente Molino	E21	7	6	41	54
	Box Couvert Km.26	E22	3	4	5	12
	Omya	E23	2	4	5	11
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	17	48	81	146
	El Chagualo	E26	21	13	6	40
	Puente La Feria	E27	3	5	12	20
	Alcaravanes	E28	25	16	16	57
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	5	4	5	14
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	5	6	17	28



	C1	C2	C3	Total
Abundancia total	329	335	329	993
Promedio	15	16	16	43
Mínimo	1	3	1	1
Máximo	78	71	81	146

Reportando la abundancia por fuente hídrica, se tiene que las quebradas La Pereira y La Marinilla, fueron las que mayor aporte realizaron durante tres campañas de muestreo. La quebrada La Pereira aportó 264 individuos que oscilaron entre 70 individuos en campaña 1 y 106 en campaña 2. La Marinilla aportó 263 individuos oscilando entre 66 en campaña 1 y 115 en campaña 3. Las quebradas que menor aporte realizaron fueron la Chachafruto con 14 individuos solo de *Poecilia reticulata* y el Salado con 28 individuos en su mayoría de la sabaleta *Brycon henni* (Figura 33).

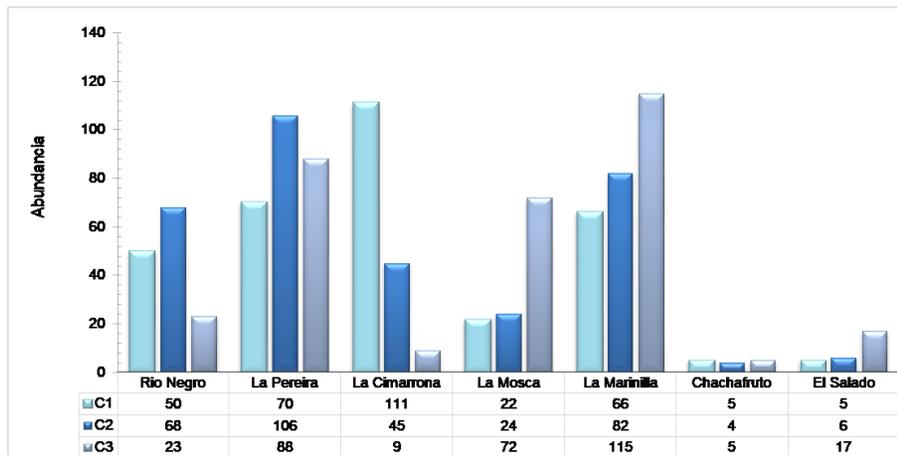


Figura 33. Distribución de la abundancia de la fauna íctica por fuente hídrica en tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

La riqueza por su parte, estuvo mejor representada en la fuente hídrica Río Negro con cinco especies en la primera campaña y una más en la tercera campaña. En la quebrada La Marinilla se reportaron cinco especies en cada campaña. Las quebradas Chachafruto y el Salado, fueron las fuentes hídricas que menor aporte realizó a la riqueza de especies en el ensamble con uno máximo dos especies, seguido de las quebradas La Ci-

marrona y La Mosca con tres especies cada una. La quebrada La Pereira, se ubicó en la mitad, ya que aportó entre tres a cuatro especies (Figura 34).

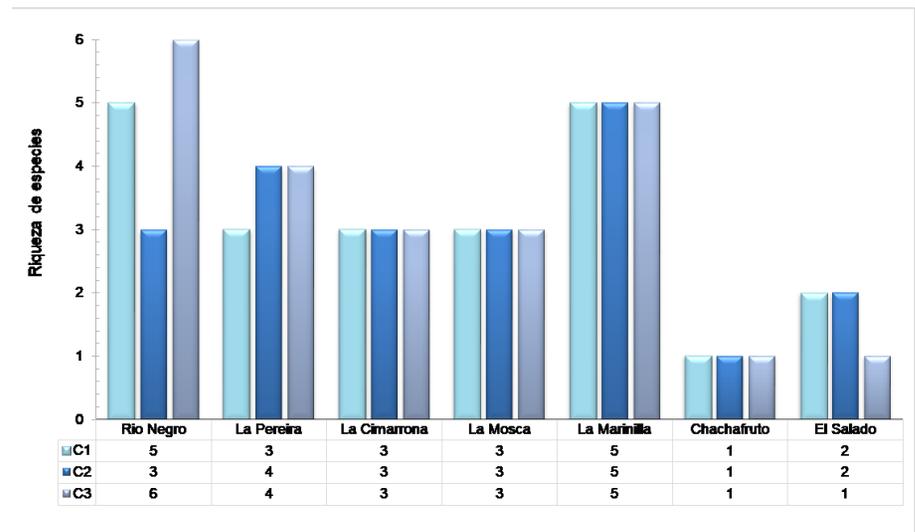


Figura 34.. Distribución de la riqueza de la fauna íctica por fuente hídrica en tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

De esta forma la riqueza de las especies encontradas a lo largo del muestreo, se comportó muy similar entre campañas, sin embargo estuvo mejor representada por el orden *Characiformes* que ocupó 69.08% principalmente por la sardina *Hemibrycon antioquiae*, la sabaleta *Brycon henni*, además de un individuo del yamú *Brycon amazonicus* capturado en la estación Puente Real (E5) del Río Negro, este orden estuvo presente en seis de las siete fuentes hídricas para las dos primeras campañas y en cinco fuentes para la tercera campaña. Le sigue el orden *Perciformes* que, aunque ocupó durante todas las campañas el 2.01% este reportó dos es-



peces al ensamble tales como la mojarra negra *Kronoheros umbrifer* y la trucha bass *Micropterus salmoides* que, de manera general, estuvo presente en solo dos fuentes hídricas (quebrada La Pereira y el Río Negro).

Otro orden que generó dos especies fue el de los *Siluriformes* (4.23%), este orden registró básicamente individuos de la briola *Trichomycterus chapmani* en cinco fuentes hídricas y tan solo un individuo del coroncoro *Isorineloricaria tenuicauda* capturado en la estación Puente Real (E5) del Río Negro. El resto de ordenes aportaron de a una sola especie así: *Cyprinodontiformes* (*Poecilia reticulata*) en todas las estaciones donde se capturaron peces con excepción de la fuente hídrica El Salado, los *Cichliformes* con reporte de la mula *Geophagus steindachneri* solo en la quebrada La Marinilla para las tres campañas de muestreo y el orden *Cypriniformes* con la carpa *Cyprinus carpio* presente solo en algunas estaciones del Río Negro pero presente en todas las campañas de muestreo (Figura 35).

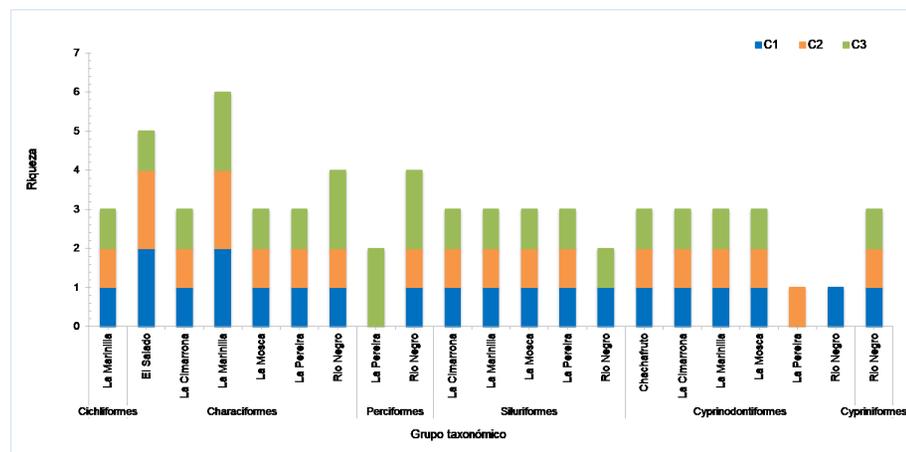


Figura 35. Distribución de la riqueza por orden taxonómico de la fauna íctica por fuente hídrica. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

1.1.3 Distribución de la biomasa

En cuanto a la biomasa general; se observa un total de 18.333,3 gramos, donde especies como la sabaleta *Brycon henni* con una biomasa de 6.341,84 g (34.6%), la carpa *Cyprinus carpio* con una biomasa de 6.283,38 g (34.3%) y la sardina *Hemibrycon antioquiae* 2.794,10 (15.2%) y la trucha bass *Micropterus salmoides* 1.892,40 (10.3%) fueron las especies que mayor aporte realizaron en el ensamble. El resto de especies no ocuparon más del 6% de ocupación de biomasa (Tabla 34).

Tabla 34. Distribución de la biomasa de la fauna íctica. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

Orden	Especie	Biomasa	Abundancia
Characiformes	<i>Brycon henni</i>	6.341,84	68
	<i>Hemibrycon antioquiae</i>	2.794.10	617
	<i>Brycon amazonicus</i>	188.00	1
Cichliformes	<i>Geophagus steindachneri</i>	21.83	14
Cypriniformes	<i>Cyprinus carpio</i>	6.283,38	14
Cyprinodontiformes	<i>Poecilia reticulata</i>	530.77	217
Perciformes	<i>Kronoheros umbrifer</i>	36.50	3
	<i>Micropterus salmoides</i>	1.892,40	17
Siluriformes	<i>Isorineloricaria tenuicauda</i>	47.27	1
	<i>Trichomycterus chapmani</i>	197.25	41.00

La campaña 3, fue la que mayor aporte realizó, registrando un total de 10.691,06 g (58.3%) del total de biomasa del ensamble. Analizando los datos por campaña, se tiene que en esta la carpa *Cyprinus carpio* con 5.904,50 g la sabaleta *Brycon henni* con 2.817,23 g (26.35%) y la sardina *Hemibrycon antioquiae* con 1.378,52 g (12.89%) fueron las especie que aportaron más biomasa. Contrario a la mojarra negra *Kronoheros umbrifer* con 36.50 g (0.34%) y el guppy *Poecilia reticulata* con 19.45 g (0.18) fueron las de menor aporte (Tabla 35).

Por otro lado, la campaña 2, con 5.870,32 gramos (32%.) del total de biomasa del ensamble. El 57.63 % de biomasa lo ocupó la sabaleta *Brycon henni* con 3.383,35 g, seguido de la trucha bass *Micropterus salmoides* con 823.20 g, es decir, (20.64%) y la sardina *Hemibrycon antioquiae* con

823.20 g (14.02%). La briola *Trichomycterus chapmani* tan solo reportó 12 g (0.20%) en el ensamble de la segunda campaña (Tabla 66).

Finalmente, la campaña 1, siendo la que menor aportó a la biomasa con 1.771,96 gramos (9.7%) del total de biomasa del ensamble. El 33.43% de la biomasa en esta campaña, pertenece a la sardina *Hemibrycon antioquiiae* con 592.38 g, seguido de la trucha bass *Micropterus salmoides* con 417.90 g (23.58%) y el guppy *Poecilia reticulata* con 252.56 g (14.25%). La mula *Geophagus steindachneri* fue la que menor aporte a biomasa realizó en esta campaña con tan solo 3.08 g (0.17%) y el coroncoro *Isorineloricaria tenuicauda* con 47.27 g (2.67%) (Tabla 66).

Tabla 35 Distribución de los aportes del % abundancia y biomasa por especie. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).



Campaña	Especie	Biomasa (gr)	Abundancia	% Biomasa (gr)	% Abundancia
C1	<i>Brycon henni</i>	141.26	10	7.97	3.04
	<i>Hemibrycon antioquiiae</i>	592.38	143	33.43	43.47
	<i>Isorineloricaria tenuicauda</i>	47.27	1	2.67	0.30
	<i>Trichomycterus chapmani</i>	118.63	17	6.69	5.17
	<i>Cyprinus carpio</i>	198.88	4	11.22	1.22
	<i>Geophagus steindachneri</i>	3.08	6	0.17	1.82
	<i>Micropterus salmoides</i>	417.90	7	23.58	2.13
	<i>Poecilia reticulata</i>	252.56	141	14.25	42.86
Total, C1		1771.96	329		
C2	<i>Brycon henni</i>	3.383,35	25	57.63	7.46
	<i>Hemibrycon antioquiiae</i>	823.20	240	14.02	71.64
	<i>Trichomycterus chapmani</i>	12.00	8	0.20	2.39
	<i>Cyprinus carpio</i>	180.00	1	3.07	0.30
	<i>Geophagus steindachneri</i>	1.61	4	0.03	1.19
	<i>Micropterus salmoides</i>	1.211,40	5	20.64	1.49
	<i>Poecilia reticulata</i>	258.76	52	4.41	15.52
	Total, C2		5.870,32	335	



C3	<i>Brycon henni</i>	2.817,23	33	26.35	10.03
	<i>Hemibrycon antioquiae</i>	1.378,52	234	12.89	71.12
	<i>Trichomycterus chapmani</i>	66.62	16	0.62	4.86
	<i>Kronoheros umbrifer</i>	36.50	3	0.34	0.91
	<i>Brycon amazonicus</i>	188.00	1	1.76	0.30
	<i>Cyprinus carpio</i>	5.904,50	9	55.23	2.74
	<i>Geophagus steindachneri</i>	17.14	4	0.16	1.22
	<i>Micropterus salmoides</i>	263.10	5	2.46	1.52
	<i>Poecilia reticulata</i>	19.45	24	0.18	7.29
Total, C3		10.691,06	329		
Total, general		18.333,34	993		

De manera general, la estimación de la biomasa de los peces, se deriva del total del número de los individuos de todo el registro, para especies como sardinas, guppys y capitanes, se necesita el aporte de un mayor número de individuos para obtener una biomasa mayor, a diferencia de la sabaleta, carpas y truchas que no necesariamente su abundancia debe ser mayor, ya que su talla, son de especies comerciales y de interés pesquero o de cultivo (Figura 36).

Distribución por aparejo de pesca

Con el fin de capturar el mayor número de especies posible y obtener una mayor representación de las poblaciones de peces en las estaciones, durante tres campañas de muestreo, fueron utilizados dos diferentes artes de pesca los cuales son: la electropesca y la atarraya. No obstante, todos los métodos fueron usados, pero fue la atarraya la que aportó los resultados en todas las estaciones de muestreo para las tres campañas.

De manera general, de los 993 individuos capturados, 787 fueron capturados con atarraya, es decir el 79.3% del total de capturas; la sardina *Hemibrycon antioquiae* fue la especie más captura con este aparejo (576 individuos) ocupando el 58% de capturas. Con la pesca eléctrica 206 individuos (20.7%), siendo el guppy *Poecilia reticulata* la especie más capturada con 139 individuos (14%) (Tabla 36).

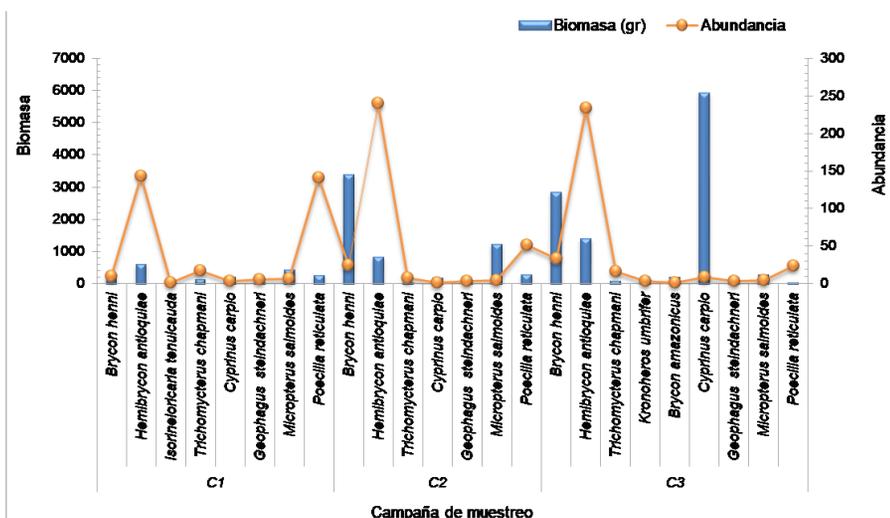


Figura 36. Distribución de los aportes de abundancia y biomasa por especie. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

Tabla 36. Distribución general de capturas de la fauna íctica por aparejos pesca. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

Aparejo	Especie	Abundancia	Abundancia relativa (%)
Atarraya	<i>Hemibrycon antioquiae</i>	576	58.01
	<i>Poecilia reticulata</i>	78	7.85
	<i>Brycon henni</i>	68	6.85
	<i>Micropterus salmoides</i>	17	1.71
	<i>Trichomycterus chapmani</i>	15	1.51
	<i>Cyprinus carpio</i>	14	1.41
	<i>Geophagus steindachneri</i>	14	1.41
	<i>Kronoheros umbrifer</i>	3	0.30
	<i>Isorineloricaria tenuicauda</i>	1	0.10
Electropesca	<i>Brycon amazonicus</i>	1	0.10
	<i>Poecilia reticulata</i>	139	14.00
	<i>Hemibrycon antioquiae</i>	41	4.13
	<i>Trichomycterus chapmani</i>	26	2.62
Total general		993	100

De acuerdo a la distribución de capturas por método de muestreo, se tiene que en la campaña 1 el aporte general fue de del 33.1% (329 individuos); de los cuales el 18.6% son para la atarraya con 185 representantes y el 14.5% para la pesca eléctrica con 144. Por otro lado, en la campaña 2, los métodos de captura ocuparon un 33.7% que corresponde a 335 animales, de los cuales el 29.8% son para la atarraya (296 individuos) y tan solo el 3.9 para la pesca eléctrica (39 individuos).

Finalmente, los métodos hicieron un aporte en la campaña 3 del 33.1% con 329 individuos, siendo la atarraya nuevamente la que mejor representó las capturas con 30.8% (306 individuos); la pesca eléctrica por su parte generó un reporte de 23 animales; es decir, una ocupación del 2.3%.

Es muy importante saber que, durante tres campañas de muestreo, la captura con atarraya, estuvo mejor representada por la sardina *Hemibrycon antioquiae*, y que con este aparejo fueron capturadas la totalidad de

especies reportadas en todo el muestreo (10 especies). Por otro lado, con la pesca eléctrica, tan solo fueron capturados tres especies a lo largo de las tres campañas, tales como la sardina *Hemibrycon antioquiae*, La briola *Trichomycterus chapmani* y principalmente el guppy *Poecilia reticulata* (Tabla 37).

Tabla 37. Distribución general de capturas de la fauna íctica por aparejos pesca. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

Aparejo	Especie	C1	C2	C3	Total
Atarraya	<i>Brycon henni</i>	10	25	33	68
	<i>Hemibrycon antioquiae</i>	111	234	231	576
	<i>Isorineloricaria tenuicauda</i>	1			1
	<i>Trichomycterus chapmani</i>	4	5	6	15
	<i>Kronoheros umbrifer</i>			3	3
	<i>Brycon amazonicus</i>			1	1
	<i>Cyprinus carpio</i>	4	1	9	14
	<i>Geophagus steindachneri</i>	6	4	4	14
	<i>Micropterus salmoides</i>	7	5	5	17
	<i>Poecilia reticulata</i>	42	22	14	78
Total, Atarraya		185	296	306	787
Electropesca	<i>Hemibrycon antioquiae</i>	32	6	3	41
	<i>Trichomycterus chapmani</i>	13	3	10	26
	<i>Poecilia reticulata</i>	99	30	10	139
Total, Electropesca		144	39	23	206
Total, general		329	335	329	993

Teniendo en cuenta estos resultados, es importante mencionar que los aparejos usados, son artes de pesca selectivos y complementarios acorde a las características hidráulicas del río y o quebrada. Ahora bien, intentando muestrear la mayor cantidad de hábitats posibles torrenciales y baja turbulencia, con la pesca eléctrica, se escogió al interior de cada tramo de muestreo subtramos representativos de la heterogeneidad espacial asegurando la mayor cantidad de ambientes acuáticos posibles; cabe decir, que este método es principalmente empleado en sistemas alto andinos como quebradas y arroyos con pendientes elevadas y cauces





estrechos con profundidades menores a un metro, los cuales se asemejan a las condiciones descritas para el área de estudio. Adicional a esto se usó la atarraya de diferente ojo de maya y metros de alto, con este aparejo, es posible la captura de individuos en corriente, por lo que se aseguró muestrear todos los posibles microhábitats de cada estación y capturar individuo que permaneces en las rocas, así como en la columna de agua.

De manera general, los resultados mostraron que la atarraya predominó en las capturas de peces para las tres campañas, pero principalmente en la campaña 3; esto se debe a que en época seca, debido a las formaciones de charcas el muestreador encuentra más sitios para lanzar este aparejo, capturando entonces especies pertenecientes a varios ordenes taxonómicos como los *Characiformes*, incluidos los *Siluriformes* ya que los niveles del río al encontrares un tanto bajos, estos peces tipo bagres pueden encontrarse con mayor facilidad en la columna de agua. La pesca eléctrica por su parte, tuvo su mayor aporte en la campaña 1, pero no mayor al análisis anterior; esto se debe a que en época de lluvia, el río sube de nivel y con este aumento las condiciones del sitio cambian, perdiéndose los remansos, y posibles sitios de pesca con este aparejo por lo que el esfuerzo de muestreo se torna más cuidadoso buscando peces que antes podían nadar con mayor facilidad en la corriente y ahora se encuentran adheridos a las rocas como los tipo bagre en este caso los *Trychomycteridos*.

Las fuentes hídricas que estuvieron mejor representadas por la atarraya fueron, La Pereira (234 individuos), La Marinilla (223 individuos), Río Negro (136 individuos) y La Mosca (107 individuos). Con la electropesca fue principalmente La Cimarrona la que estuvo mejor representada (Figura 37).

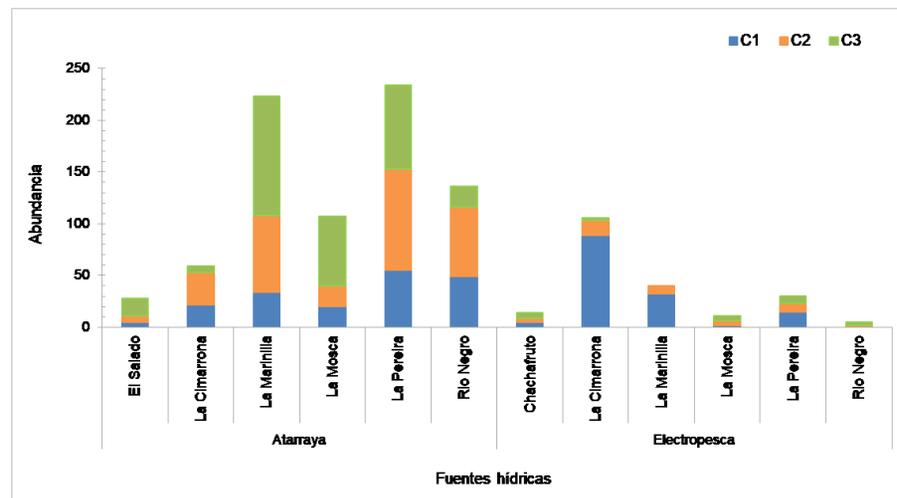


Figura 37. Distribución general de capturas de la fauna íctica por aparejos pesca. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021) por fuente hídrica.

Descripción y ecología

Se presenta una breve descripción ecológica de los órdenes taxonómicos y cada una de sus especies reportadas en el muestreo con su respectivo registro fotográfico.

Orden *Characiformes*

Son un grupo de peces bastante diverso en tamaño, formas y en historias de vida. Viven en los ríos y lagos de África, así como en los de América (Eschmeyer, W. N. y J.D. Fong. 2014). Morfológicamente se caracterizan por tener cuerpo cubierto de escamas bien desarrolladas, dientes en sus mandíbulas o en sus labios y no presentar barbillas ni en las comisuras labiales ni en las mandíbulas.

Este orden está representado por 3425 especies, agrupadas en 23 Familias; cuatro de ellas son africanas) (Eschmeyer, 2014). En el muestreo se reportaron por dos géneros de la familia *Characidae* tales como *Hemibrycon Antioquie* y *Brycon henni*.

Hemibrycon antioquiae

La sardina *Hemibrycon antioquiae* es una especie recién descrita y aun no se conoce información de su ecología. y lleva el nombre del estado de Antioquia, Colombia, donde se recopiló la serie tipo (Fotografía 40).

Brycon henni

Es una especie endémica de la cordillera central de Colombia (río Cauca, la vertiente oriental al río Magdalena, en los ríos San Jorge y San Juan (Maldonado-Ocampo 2005), Es una de las especies más importantes a nivel ecológico en los ríos que nacen en la cordillera Central de Colombia (Pineda H, Arboleda L, Echeverry A, Urcuqui Es, Molina D, 2007). Además, es importante para la seguridad alimentaria de los pobladores ribereños de muchos de los cuerpos de agua que habita, por ser generalmente el principal recurso pesquero en algunas de estas zonas, además es explotada en la pesca deportiva y la piscicultura (Botero-Botero, Alvaro; Ramírez-Castro, 2011; Montoya-López, 2006).

Dieta

Esta especie tiene hábitos alimentarios muy flexibles, consumiendo desde frutos, flores y hojas hasta insectos que caen al agua desde la vegetación marginal, insectos acuáticos y raramente peces pequeños (macroinvertebrados; principalmente ephemeropteros, dípteros y tricópteros), además de crustáceos y peces; se alimenta en las zonas turbulentas donde se revuelve el material que es arrastrado por el río. No se ha registrado si consume peces juveniles de otras especies; es considerada una especie sensible a la contaminación y en especial a la baja concentración de oxígeno; además requiere de un ambiente con buena vegetación marginal que es su principal fuente de alimento (Fotografía 40).

Brycon amazonicus

Uno de los géneros de peces dulceacuícolas neotropicales de talla mediana, con mayor número de especies es el *Brycon* (cerca de 40 se consideran válidas y 20 más han sido propuestas) (Howes, 1982). Alrededor de 15 especies han sido reportadas para Colombia (Lima FCT, 2003), tres de ellas con estudios en biología y piscicultura (CJA, 2002).

La especie es nativa de la cuenca del río Orinoco y su prevalencia es mayor en afluentes de los ríos Meta, Ariari y Guaviare, en Colombia. Se distribuye en América del Sur: río Amazonas y sus principales afluentes en Brasil; Cuencas de los ríos Orinoco y Esequibo. Es una especie bentopelágica (región ecológica en el nivel más bajo del cuerpo de agua), que vive en ríos, lagos y área de bosque inundado, en zonas de clima tropical.

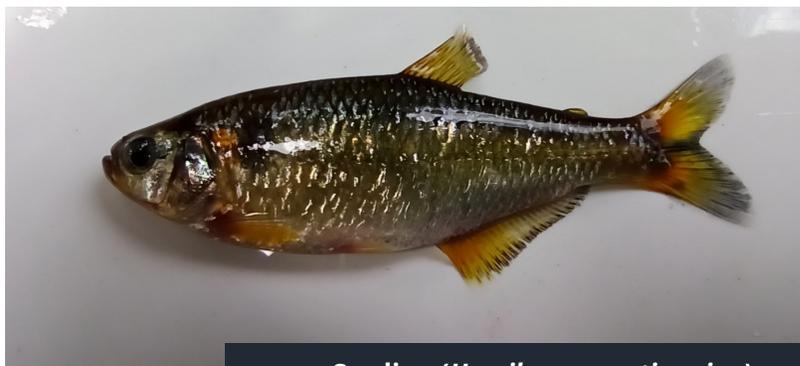


Respecto a su forma de vida, se encuentran bancos de diversas especies que se desplazan río abajo para desovar. Los embriones y las larvas se desarrollan y son arrastrados a los bosques inundados de los ríos de aguas blancas ricos en nutrientes. Los juveniles viven en las áreas inundadas adyacentes en enjambres debajo de las hojas flotantes y plantas acuáticas. Los animales adultos se encuentran en los bosques inundados, tanto de aguas blancas como de ríos de aguas negras. Después de la temporada de desove, los adultos migran río arriba por corrientes de agua forestales hasta su hábitat original de aguas negras, donde pasan hasta el siguiente período de desove.

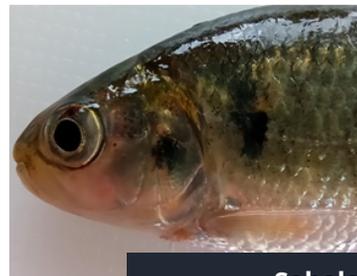
Su comportamiento migratorio se restringe a desplazamientos relativamente cortos de tipo horizontal, con bajanza reproductiva de los caños a los ríos mayores y subienda trófica a los mismos, al final del periodo reproductivo (CJA, 1995)

Es una especie de régimen alimenticio omnívoro y oportunista (CJA, 1995). Pero al igual que otros congéneres prefiere consumir productos vegetales en especial frutos y semillas.

Es la especie más común entre los brycónidos de los Llanos Orientales colombianos y la más explorada para piscicultura, dado su hábito alimenticio omnívoro (Arias CJA,1995), su crecimiento rápido y la gran eficiencia alimenticia con raciones con bajos niveles de proteína de origen vegetal, óptima calidad de su carne y sus especiales características para la pesca deportiva (CJA, 1995) (Fotografía 15).



Sardina (*Hemibrycon antioquiiae*)



Sabaleta (*Brycon henni*)



Yamú (*Brycon amazonicus*)

Fotografías 15. Especies ícticas del orden Characiformes registradas tres campañas de muestreo en el periodo de septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021.

Fuente: Diana Marcela Arenas Serna, 2020-2021

Orden *Siluriformes*

Son peces conocidos popularmente como bagres. Se caracterizan por tener barbillas o bigotes, el cuerpo sin escamas (desnudo) o en algunas especies cubierto total o parcialmente con placas (Reis, R., Kullander S., 2003). Este grupo es reconocido por su interés para la pesca deportiva, de consumo y ornamental. Tienen una gran variedad de formas corporales e historias de vida. Por lo general, son peces de hábitos nocturnos que viven asociados al fondo de los cuerpos de agua o troncos y vegetación sumergida. En el mundo se conocen hasta el momento 39 familias y 3626 especies. Este orden estuvo representado por dos especies de las familias *Trichomycteridae* y *Loricariidae*.

Trichomycterus chapmani

Posee hábitos nocturnos y se oculta en el sustrato. Además, suelen encontrarse en zonas con corrientes moderadas o fuertes y se alimentan de insectos acuáticos y restos vegetales (Maldonado-Ocampo et al., 2005). Esta especie se distribuye en Colombia y Ecuador y se encuentra entre los 1085 -1.900 m de altitud y temperaturas entre 16 - 23°C (Vargas-Tisnes 1989); es de hábitos nocturnos y se oculta entre la vegetación sumergida, rocas y gravas; prefiere aguas correntosas de pequeñas quebradas y ríos medianos (Ortega-Lara A., A. Aguiño., 2002) se ha descrito que se alimenta principalmente de insectos acuáticos, artrópodos, Hydra, Anélida, Nemátoda y restos vegetales (Usma S., 2002) (Fotografía 41).

Isorineloricaria tenuicauda

Isorineloricaria es un género de bagre de la familia *Loricariidae* del noroeste de América del Sur. Viven en ríos y arroyos, típicamente con agua de corriente lenta a moderada, en las cuencas del Orinoco, Maracaibo, Magdalena y Guayas (una especie en cada cuenca). La especie más grande del género alcanza hasta 52 cm (20 pulgadas) de longitud estándar (Fotografía 41).



Briola (*Trichomycterus chapmani*)

Fotografía 16. Especies ícticas del orden Siluriformes registradas. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).
Fuente: Diana Marcela Arenas Serna, 2020-2021

Orden Cyprinodontiformes

Este orden se caracteriza por presentar cuerpo totalmente escamado, aleta caudal redondeada, poros de la línea lateral formando un canal, boca protusible y ausencia de aleta pélvica. En algunas familias la fecundación es interna y pertenecen al grupo de peces llamados ovovivíparos, pues el embrión se desarrolla en el interior del cuerpo de la hembra (no ponen huevos) y las crías nacen totalmente desarrolladas (Reis, R., Kullander S., 2003).

Este orden está compuesto por 1284 especies (Eschmeyer, 2014). En el muestreo se reporta la familia Poeciliidae y una especie. Las especies de esta familia se caracterizan por la presencia de un gonopodio en los machos correspondiente a la modificación de los radios 3, 4, y 5 de la aleta anal cuya función es clave en la reproducción. Poseen fertilización interna y viviparidad (PHF, 2003). Son comunes como peces ornamentales y se conocen con el nombre común de guppies o peces mosquito.

Poecilia reticulata

El género *Poecilia reticulata* es originario de Centroamérica (Bussing, 1998). Es una especie insectívora. Se reproduce permanentemente y es vivípara (embriones se desarrollan dentro del cuerpo de la hembra). Hábitat: Es una especie muy resistente. Ejemplares de esta especie se han observado en sitios caracterizados por tener un lecho constituido principalmente por rocas, guijarros sub-angulares y grava ecosistemas (Jiménez-Segura L.F., J. Álvarez, L.E. Ochoa, A. Loaiza, J.P. Londoño, D. Restrepo, K. Aguirre, A. Hernández, 2014) (Fotografía 42).



Guppy (*Poecilia reticulata*)

Fotografía 16. Especies ícticas del orden Cyprinodontiformes registradas. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).

Fuente: Diana Marcela Arenas Serna, 2020-2021

Orden Perciforme

Este orden es el más diversificado de todos los peces, siendo considerado el más rico en especies de los vertebrados. Los *Perciformes* de agua dulce pueden ser reconocidos por cuerpo cubierto con escamas, aleta dorsal larga con varias espinas y radios blandos, aletas pélvicas al mismo nivel que las aletas pectorales y ausencia de aleta adiposa. Por lo general, son peces de hábitos diurnos que viven en diferentes sectores de la columna de agua o asociados al fondo, a troncos o a vegetación sumergida y no forman cardúmenes (Reis, R., Kullander S., 2003).

En el muestreo se registró la familia Centrarchidae. Los peces de esta familia son nativos de Norteamérica (Eschmeyer, 2014); se caracterizan por tener línea lateral a veces incompleta, aleta anal normalmente con tres espinas (o menos). La mayoría de los peces de esta familia son constructores de nidos. Los Centrárquidos son importantes en la pesca deportiva y han sido introducidos en muchas áreas en el mundo.

Micropterus salmoides

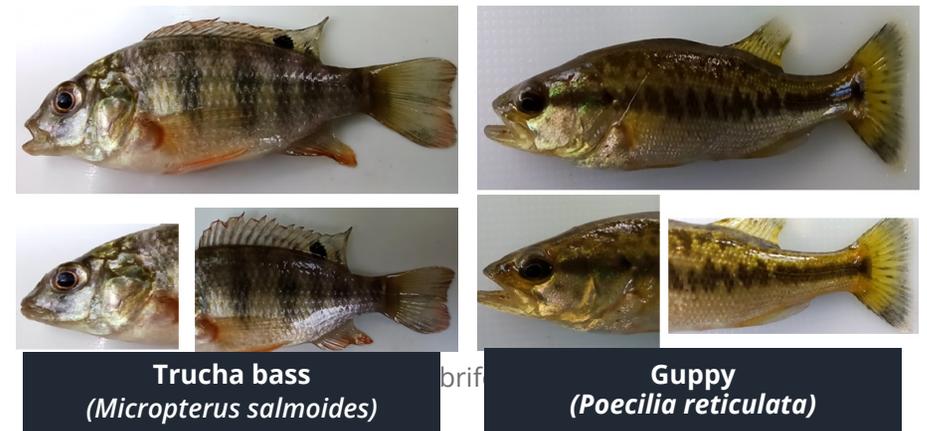
De la especie *Micropterus salmoides* se reporta que, los individuos juveniles son gregarios y forman grupos muy numerosos, mientras que los adultos llevan una vida solitaria. La perca americana habita ríos y lagos de aguas claras, donde puede acechar a sus presas desde el fondo. Un rasgo distintivo de la especie es su gran boca, que en Inglaterra le ha valido el sobrenombre de “bigmouth bass”, que utiliza para generar una corriente de agua con la que atrapa a sus presas. Su alimentación incluye insectos, larvas de peces, anfibios, pequeños mamíferos e incluso aves. La IUCN ha incluido a esta especie en la lista de las 100 invasoras más dañinas del mundo. (Fotografía 43).

Kronoheros umbrifer

Se distribuye desde Panamá hasta Colombia¹. Se ha reportado en las cuencas de los ríos Magdalena y Atrato (Maldonado-Ocampo et al., 2005). No se conocen estimativos poblacionales para esta especie. Muy apreciada en la pesca de subsistencia por la calidad de su carne. Prefiere los ríos pequeños, en zonas de remansos, aguas lentas y con abundante bosque ribereño. Eventualmente se captura en las ciénagas de las cuencas bajas.

Especie omnívora, se alimenta de peces, insectos, frutos y semillas que caen al agua. En el alto Magdalena, se reproduce a lo largo de todo el año, con picos máximos en febrero y octubre (Villa-Navarro, 1999). Hay vacíos de conocimiento de la biología de la especie. Talla mediana hasta 35 cm de LT y su peso promedio 800 g.

A pesar de su amplia distribución geográfica en el norte de Suramérica, desde Panamá hasta el río Ranchería, en ninguna parte llega a ser abundante y tiene baja frecuencia de captura en las cuencas nacionales. Se reconoce su alta selectividad de micro-hábitat que restringe su presencia a zonas particulares de las cuencas. En los últimos años los intensos procesos de alteración de hábitat en la cuenca Magdalena han afectado seriamente sus poblaciones (Galvis, G., J. Mojica, F. Provenzano, C. Lasso, D. Taphorn, R. Royero, C. Castellanos, A. Gutiérrez, M. Gutierrez, y López, L. M. Mesa, 2007). En el Ranchería su principal amenaza se debe a la sustracción de hábitat por la alteración de caudales por el embalse El Cercado. No existen medidas de conservación para la especie, por eso se requiere de programas de estudios y de protección de hábitat y regulación de pesca. (Fotografía 17).



Trucha bass
(*Micropterus salmoides*)

Guppy
(*Poecilia reticulata*)

Fotografía 17. Especies ícticas del orden Perciformes registradas. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021). Fuente: Diana Marcela Arenas Serna, 2020-2021

Orden *Cichliformes*

Este orden reportó una la familia *Cichlidae*, esta, es una de las familias más ricas de peces de agua dulce, a la fecha se conocen 1671 especies. La distribución geográfica incluye aguas dulces de África, el valle del Jordán en el Oriente Medio, Irán, sur de la India y Sri Lanka, Madagascar, Cuba y La Española, América del Norte y centro América y América del Sur (Kullander, 2003).

Geophagus steindachneri

La especie *Geophagus steindachneri*, habita en fondos de guijarro rocas y lodo, arena. Con vegetación ribereña, material alóctono y perifiton y en algunas ocasiones árboles de gran altura, además de residuos sólidos. Cuerpos de agua con flujo moderado, lento y rápido; márgenes moderadas, abruptas y escavadas; profundidad entre 0.10 a 1.20 m (Fotografía 44).



Mula (*Geophagus steindachneri*)

Fotografía 18. Especies ícticas del orden *Cichliformes* registradas. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021).
Fuente: Diana Marcela Arenas Serna, 2020-2021

Orden *Cypriniformes*

Este orden de peces es importante por dos motivos. En primer lugar, es una importante fuente de alimentación en algunos países, sobre todo en Europa y Asia. Pero es que además son importantes en acuariología. A veces se han reintroducido carpas accidentalmente o deliberadamente, lo que suele producir un importante impacto ambiental sobre los peces autóctonos, pues su costumbre de remover el fondo marino en busca de alimento enturbia el agua, impidiendo la fotosíntesis de las algas y afectando así a toda la cadena trófica (Nelson, JS, Grande, TC., Wilson, 2006).

La familia *Cyprinidae* son la familia de peces de agua dulce, denominados colectivamente ciprínidos, que incluye a las carpas, los verdaderos pececillos y sus parientes (por ejemplo, las púas y las barbillas). También llamada comúnmente “familia de las carpas” o “familia de los pececillos”, los *ciprínidos* son la familia de peces más grande y diversa y la familia de animales vertebrados más grande en general, con alrededor de 3.000 especies de las cuales solo quedan 1.270, divididas en aproximadamente 370 géneros.

Cyprinus carpio

El la especie *Cyprinus carpio* es nativa de eurasia y es una de las especies de peces que se ha cultivado por más tiempo, debido a su ciclo de vida corto, régimen de alimentación variado y su elevado potencial reproductivo reportado en este estudio, por su método de alimentación agita los sedimentos en el fondo del agua y desgarrar macrófitos, por lo que es un especie clave en la alteración de los hábitats de peces nativos y otras especies acuáticas nativas (Database., 2013).

Son omnívoros, alimentándose de insectos acuáticos, crustáceos, anélidos, moluscos, detritos, hierbajos y semillas de árboles, plantas acuáticas y algas. Son cavadores de sedimentos. Vive en lagos, estanques o ambientes lénticos, preferentemente con fondo fangoso (Mendoza-Alfaro s.a). La carpa común silvestre vive en las corrientes medias y bajas de los ríos, en áreas inundadas y en aguas confinadas poco profundas, tales como lagos, meandros lacunares y embalses de agua. Las carpas son principalmente habitantes del fondo, pero buscan alimento en las capas media y superior del cuerpo de agua. La especie puede sobrevivir bajas

concentraciones de oxígeno (0,3-0,5 mg/litro) así como súper saturación. Adicionalmente, la carpa consume los tallos, hojas y semillas de plantas acuáticas y terrestres, plantas acuáticas en descomposición.

Los efectos ecológicos documentados de *C. carpio*, incluyen la tendencia a destruir la vegetación, causando deterioro del hábitat de las especies que requieren la vegetación y agua limpia (Wakida-Kusunoki & Amador-del-Ángel, 2011) (Fotografía 45).



Carpa (*Cyprinus carpio*)

Fotografía 19. Especies ícticas del orden Cypriniformes registradas. Durante tres campañas de muestreo (septiembre y diciembre de 2020; febrero de 2021). Fuente: Diana Marcela Arenas Serna, 2020-2021.

Índice Calidad Ecológica

Los resultados del índice de calidad ecológica con base en la comunidad de peces en la cuenca del Río Negro y afluentes indicaron que las relaciones entre las variables fisicoquímicas y la abundancia de peces corresponden a modelos unimodales para las tres campañas de muestreo. Luego de estandarizar las matrices, el análisis evidenció una longitud del gradiente en el primer eje de 4,76, 3,86 y 6,48 unidades de desviación estándar (SD) para la primera, segunda y tercera campaña respectivamente. Estos valores fueron determinados a partir de un análisis de correlaciones sin tendencia (DCA) y sugieren la ejecución de un análisis de correspondencias canónicas (ACC) para las tres campañas de monitoreo.

Después de ejecutar los modelos de correspondencias canónicas ACC para los tres monitoreos se obtuvo un valor p de 0,20; 0,07; y 0,15 en la primera, segunda y tercera campaña respectivamente. Debido a que estos valores son superiores a 0,05 los modelos no fueron significativos; lo cual sugiere que el modelo de relación entre los peces y parámetros fisicoquímicos requiere potenciar la robustez de las relaciones multivariadas. A pesar de la ausencia de significancia de los modelos el índice de calidad ecológico puede ser analizado en sus tendencias teniendo la discreción pertinente que las relaciones no son sólidas y necesitarán de una mayor cantidad de datos para, en principio, buscar su significancia.

Al evaluar el filtro de los supuestos de colinealidad y del factor de la inflación de la varianza, fueron incluidas en los modelos de análisis de correlaciones canónicas (CCA) 18, 24, y 16 variables ambientales en la primera, segunda y tercera campaña respectivamente, (Anexo ICE peces C1, C2 y C3). La variable que fue común únicamente para la campaña 2 y campaña 3 fue el manganeso (Mn).

Después del reescalamiento por medio de una regresión lineal de los datos, en la Tabla 38 se presentan los valores óptimos y de tolerancia con los que fueron escalonados para cada una de las especies que se encuentran presentes en las 22 y 21 estaciones de los tres muestreos en la cuenca del Río Negro y afluentes (Anexo ICE Peces C1, C2 y C3). Estos valores se obtuvieron a partir de un promedio ponderado de las abundancias con relación a los valores reescalados que provienen de los análisis de los modelos ACC ejecutados, los cuales reúnen la mayor varianza explicada de la relación entre las variables ambientales y la abundancia de peces en las diferentes estaciones.

Tabla 38 Valores óptimos y de tolerancia de cada una de las especies de peces registrados en los 22 y 21 puntos durante la primera, segunda y tercera campaña de monitoreo respectivamente, en la cuenca del Río Negro y afluentes.

Campaña 1			Campaña 2			Campaña 3		
Especie	Óptimo	Tolerancia	Especie	Óptimo	Tolerancia	Especie	Óptimo	Tolerancia
<i>Brycon henni</i>	9.938	0.442	<i>Brycon henni</i>	9.418	0.121	<i>Brycon henni</i>	7.536	0.141
<i>Hemibrycon antioquiiae</i>	8.697	1.057	<i>Hemibrycon antioquiiae</i>	9.010	1.006	<i>Hemibrycon antioquiiae</i>	7.124	1.477
<i>Isorineloricaria tenuicauda</i>	9.317	0.680	<i>Trichomycterus chapmani</i>	9.957	0.066	<i>Trichomycterus chapmani</i>	8.766	0.533
<i>Trichomycterus chapmani</i>	9.022	0.268	<i>Cyprinus carpio</i>	1.000	0.907	<i>Kronoheros umbrifer</i>	3.358	0.648
<i>Cyprinus carpio</i>	1.000	0.680	<i>Geophagus steindachneri</i>	9.994	0.907	<i>Brycon amazonicus</i>	2.747	0.647
<i>Geophagus steindachneri</i>	9.405	0.680	<i>Micropterus salmoides</i>	1.705	2.493	<i>Cyprinus carpio</i>	1.290	0.615
<i>Micropterus salmoides</i>	1.556	1.375	<i>Poecilia reticulata</i>	9.585	0.849	<i>Geophagus steindachneri</i>	9.497	0.647
<i>Poecilia reticulata</i>	9.713	0.256				<i>Micropterus salmoides</i>	2.938	0.842
						<i>Poecilia reticulata</i>	9.832	0.276

La tendencia de los resultados en cuanto a los óptimos y tolerancias de las especies en las tres campañas se observa en la Figura 38, Figura 39 y Figura 40, donde diferentes taxones obtuvieron un valor óptimo por encima de 8. Para las tres campañas de muestreo fueron *Geophagus steindachneri* (9.40, 9.99 y 9.49) y *Poecilia reticulata* (9.71, 9.58 y 9.83). Para la primera campaña se encontró *Brycon henni* (9.93), *Isorineloricaria tenuicauda* (9.31) y *Trichomycterus chapmani* (9.02). Para la segunda campaña *Brycon henni* (9.41), *Hemibrycon antioquiiae* (9.01) y *Trichomycterus chapmani* (9.95) y para la tercera campaña se encontraron dos especies por encima de este valor, pero ya mencionadas en las encontradas para las tres campañas de muestreo.

La frecuencia y abundancia de varias especies con altos óptimos corroboran que existe una buena adaptación a las condiciones ambientales de la cuenca del Río Negro y afluentes, y en primera instancia son organismos que pueden brindar soporte al seguimiento del comportamiento de la cuenca.

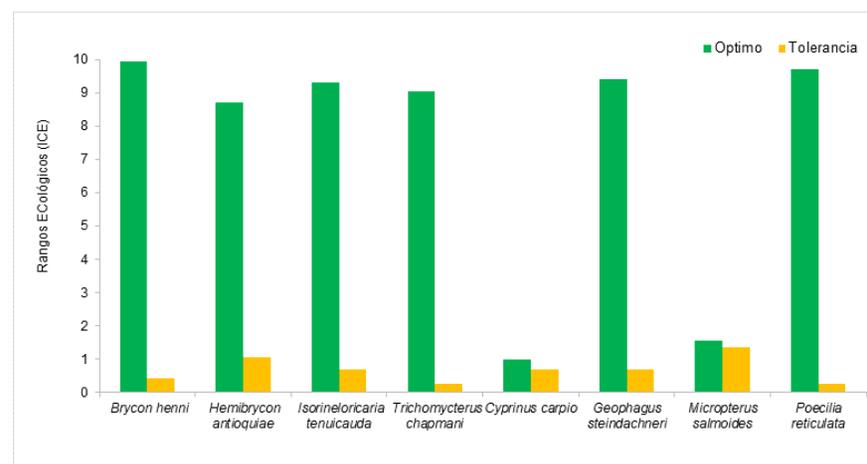


Figura 38. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de las especies de peces registradas en la cuenca del Río Negro y afluentes después del análisis de reescalonomiento en asociación con los modelos ACC. Campaña 1 (agosto-septiembre 2020).



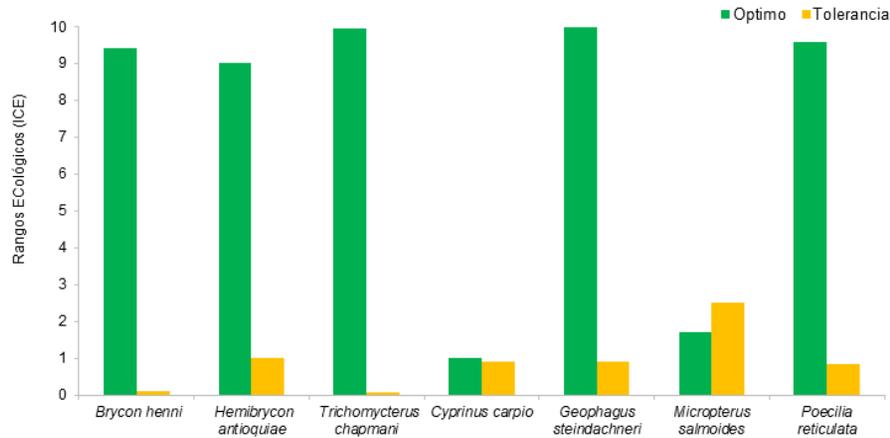


Figura 39. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de las especies de peces registradas en la cuenca del río Negro y afluentes después del análisis de reescalamiento en asociación con los modelos ACC. Campaña 2 (diciembre 2020)

Adicionalmente, los taxones que presentaron altos óptimos y a su vez baja tolerancia, indican sensibilidad a la amplitud del rango ambiental y por esta razón podrían ser considerados como bioindicadores del gradiente ambiental en el sistema estudiado, finalmente al combinar ambas observaciones estos taxa fueron: *Brycon henni*, *Isorineloricaria tenuicauda*, *Trichomycterus chapmani*, *Geophagus steindachneri* y *Poecilia reticulata*.

Las especies mencionadas se alternaron entre las tres campañas principalmente entre las dos primeras y en su mayoría corresponden a especies que poseen un amplio rango de distribución, presentando óptimos superiores a 9 y reduciendo al máximo su amplitud de tolerancia con valores inferiores a 0.5, considerándose así, como los taxones más sensibles a las variables ambientales presentes en esta fuente, estos organismos con esta tendencia fueron: *Brycon henni*, *Trichomycterus chapmani* y *Poecilia reticulata*.

Así, por ejemplo, de *Brycon henni*, se conoce que su estatus de esta catalogado como Preocupación Menor (LC) según IUCN 2020. Es una especie endémica a las montañas de Colombia. Tiene una amplia distribución, se encuentra en el Alto y Bajo Cauca, algunos tributarios del río San Jorge, Alto río Uré, Calima, ríos Patía, Guaitara, Dagua, San Juan, Digua y Anchi-

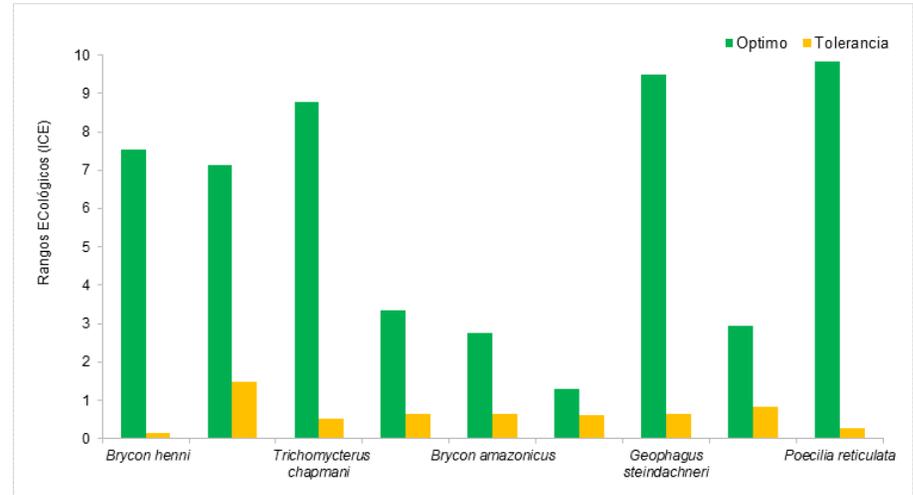


Figura 40. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de las especies de peces registradas en la cuenca del Río Negro y afluentes después del análisis de reescalamiento en asociación con los modelos ACC. Campaña 3 (febrero 2021).

cajá (Maldonado-Ocampo et al., 2005), sirve como indicador biológico en la calidad del agua del territorio donde se encuentre cumpliendo un papel fundamental dentro del ecosistema acuático debido a que:

- o Ayuda en los procesos biológicos de las redes tróficas o alimenticias, ya que sirven también de alimento a otros organismos heterótrofos.
- o Controlan plagas de insectos que tienen su ciclo productivo en los ríos y que pueden ser dañinos para el hombre.

La sabaleta *Brycon henni* es una especie omnívora oportunista que consume recursos tanto del fondo del agua como larvas de dípteros y tricópteros y elementos de origen externo al cauce como hormigas, escarabajos, avispa. Además de esta dieta carnívora, la especie incorpora a su alimentación ítems de origen vegetal como semillas, hojas y frutos. Igua- les resultados han sido reportados para *B. henni* (C., 1993; Usma J., 1996).

La presencia de abundantes ítem de origen alóctono entre los cuales se encuentran frutos, semillas, e insectos demuestran la importancia de los bosque ribereños para los arroyos pequeños de alta montaña, pues en este tipo de arroyos las aguas son claras y transparentes, pobres en



nutrientes y de baja conductividad, presentan temperaturas bajas y la producción primaria es muy baja o nula (Dajoz, 2002) dependiendo los consumidores de material alóctono que cae de los árboles o que es arrastrado por la lluvias (Dajoz, 2002; Roldán, 1992). Respecto a la preferencia de hábitat los resultados del presente estudio coinciden con los planteados por Builes y Uran (Builes & Uran, 1974) pues la especie está presente en arroyos con concentraciones altas de oxígeno (7-10 mg./l), prefiriendo aguas claras y ubicándose en el día en las zonas finales de los charcos para la captura de alimentos. La sabaleta se encuentra en sistemas tanto lóticos como lénticos, con temperatura del agua entre 18 y 29°C (Dahl, 1971).

La briola *Trichomycterus chapmani*, es una especie de hábitos nocturnos que permanece oculta entre la vegetación sumergida, rocas y gravas; prefiere aguas corrientosas de pequeñas quebradas y ríos medianos (Ortega-Lara A., A. Aguiño., 2002) se encuentra entre los 1085 - 1.900 m de altitud y temperaturas entre 16 - 23°C (Vargas-Tisnes, 1989) y el guppy *Poecilia reticulata*, se conoce que es una especie muy resistente. Ejemplares de esta especie se han observado en sitios caracterizados por tener un lecho constituido principalmente por rocas, guijarros sub-angulares y grava.

En la Tabla 39 y Figura 41 se presentan los resultados del índice para cada estación y muestreo ejecutado. Tal como se orientó desde el reescalonomiento, los valores oscilan desde 1 hasta 10, siendo los menores valores asociados a una condición crítica en cuanto a la calidad ecológica para el desarrollo de la comunidad de peces registrada en la cuenca del Río Negro y afluentes; en contraste, los valores mayores corresponden a una buena calidad ecológica.

Tabla 39. Valores del índice de calidad ecológica en la cuenca del Río Negro y afluentes por estación y campaña (C1: agosto 2020, C2: noviembre 2020 y C3: febrero 2021).

Fuente Hídrica	Estación de muestreo	Código de estación	Índice de calidad ecológica		
			Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3
Río Negro	El Hierbal	E1	8.697	9.010	7.402
	Montenevado	E2	8.697	-t	-
	Puente Real	E5	8.973	9.010	2.995
	Puente Antes EBAR Río Negro	E6	-	9.010	1.290
	La Fresera	E9	8.697	-	7.124
	Río Abajo	E10	1.385	1.609	1.960
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	8.743	9.010	7.375
	Manzanares	E13	8.745	9.061	7.559
	Bocatoma Inactiva Rio-negro-San Antonio	E14	8.697	6.358	6.133
	Casa Mía	E15	5.338	9.010	7.124
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	8.715	9.037	7.428
	Coltepunto	E18	9.713	9.585	-
	Puente Vía El Tranvía	E19	9.713	9.273	9.832
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	8.697	9.010	7.124
	Puente Molino	E21	8.724	9.010	7.283
	Box Couvert Km.26	E22	8.697	9.040	7.124
	Omya	E23	8.895	9.371	9.832
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	8.697	9.045	7.145
	El Chagualo	E26	9.849	9.567	7.536
	Puente La Feria	E27	8.697	9.010	7.124
	Alcaravanes	E28	9.427	9.582	9.328
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	9.713	9.585	9.832
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	8.886	9.106	7.536



En la Figura 41 se presenta la distribución del ICE para la cuenca del Río Negro y afluentes. En torno a los resultados se observó que en general las campañas de monitoreo mostraron altos valores en el índice de calidad ecológica, lo cual podría explicarse en función de los taxones registrados y sus abundancias, por lo que se observó que las estaciones con mayores valores registrados fueron E18 (Coltepunto) y E19 (Puente Vía El Tranvía) en la quebrada La Cimarrona, E23 (Omya) en quebrada La Mosca, E26 (El Chagualo) y E28 (Alcaravanes), en la quebrada La Marinilla y E30 (Las Delicias) en la quebrada Chachafruto. Estas estaciones coinciden principalmente con la presencia del guppy *Poecilia reticulata*, siendo la segunda especie más abundante en todo el muestreo y tal vez la presencia de esta especie en estos puntos se debe a que a pesar de que sus aguas son turbias, y una alta cantidad de sedimentos el guppy se caracteriza por ser una especie resistente a factores ambientales adversos.

Se destaca el valor más alto del índice en la estación E26 (El Chagualo) quebrada La Marinilla, para la campaña 1, donde el agua alcanza la base de las orillas, y una cantidad mínima del sustrato del canal se encuentra expuesto. El agua se encontró turbia y de color café, sin malos olores, grasas o presencia de aceites visibles en el momento del muestreo. En este sitio las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos fueron óptimos para presencia del guppy *Poecilia reticulata*, pero principalmente de la sabaleta *Brycon henni*.

En la campaña 2, se destacaron las estaciones E18 (Coltepunto) en la quebrada La Cimarrona; donde se encuentran importantes cargas contaminantes del sector productivo textilero, E28 (Alcaravanes) que aguas arriba del tramo se encuentra la descarga de la PTAR del municipio Marinilla. En este sitio el oxígeno disminuyó, los sólidos totales aumentaron, al igual que los nutrientes (DBO y DBO5) y E30 (Las Delicias) en la quebrada Chachafruto, como impacto local sobre la corriente el tramo evidencia extracción de agua por motobomba para el lavado de transporte pesado y se ha recibido la descarga del vertimiento tratado de la zona franca del Municipio de Rionegro, Aeropuerto, FAC y un Centro poblado PTAR Chachafruto. En estas estaciones predominó el guppy *Poecilia reticulata*, pero también la sardina *Hemibrycon antioquiae*.

Para la campaña 3, los mayores valores se presentaron en las estaciones E19 (Puente Vía El Tranvía) en la quebrada La Cimarrona, E23 (Omya) en quebrada La Mosca, en esta estación el oxígeno disuelto disminuyó, con la presencia del guppy *Poecilia reticulata* (Figura 41).

Por el contrario, las estaciones con menores valores registrados fueron para las tres campañas E10 (río Abajo) en Río Negro, donde se capturaron solo especies que son introducidas como *Cyprinus carpio* y *Micropterus salmoides*. En esta estación hubo un comportamiento similar relacionados con Sólidos totales altos favoreciendo el desarrollo de coberturas vegetales tales como *Eichhornia crassipes* y *Polygonum acuminatum* óptimas para especies como *Cyprinus carpio* por tener una dieta herbívora (Figura 41).

Aparte de este reporte en la campaña 1, la estación E15 (Casa Mia) quebrada La Pereira, donde se capturaron especies como *Hemibrycon antioquiae* y *Micropterus salmoides*. En la campaña 2, E14 (Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio) quebrada La Pereira, donde se capturaron especies como *Hemibrycon antioquiae* y un solo individuo de *Micropterus salmoides* y uno de *Poecilia reticulata*. Finalmente, la campaña 3, registró un mayor número de estaciones con bajos valores E5 (Puente Real), E6 (Puente Antes EBAR Rionegro) en el Río Negro y E14 (Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio) quebrada La Pereira. Este bajo reporte tiene en común que a pesar de que se capturaron más de una especie, su abundancia es baja (Figura 41).

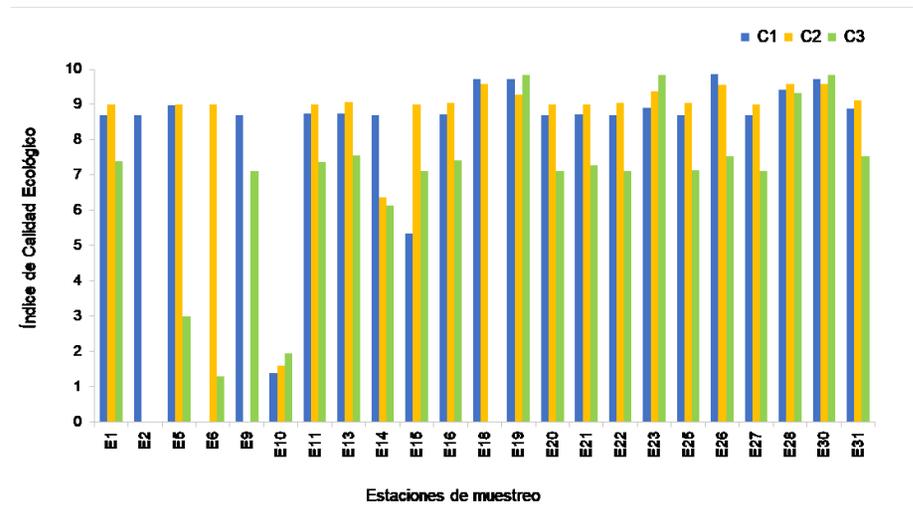


Figura 41. Distribución del índice de calidad ecológica basado en peces en las tres campañas de monitoreo en la cuenca del Río Negro y afluentes. (C=campaña). C1 (agosto-septiembre 2020), C2 (diciembre 2020) y C3 (febrero 2021).

Luego de aplicar los valores expuestos anteriormente para el cálculo de la ecuación que define el índice, se obtuvo un análisis de agrupamiento en el cual se presenta la distancia de tres grupos que definen el escalamiento del índice (Tabla 40 y Tabla 41).

Tabla 40. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto-septiembre 2020), campaña 2 (diciembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Fuente Hídrica	Estación de muestreo	Código de estación	C1	C2	C3
Río Negro	El Hierbal	E1	8.70	9.01	7.40
	Montenevado	E2	8.70	-	-
	Puente Real	E5	8.97	9.01	2.99
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	-	9.01	1.29
	La Fresera	E9	8.70	-	7.12
	Río Abajo	E10	1.38	1.61	1.96
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	8.74	9.01	7.37
	Manzanares	E13	8.75	9.06	7.56
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	8.70	6.36	6.13
	Casa Mia	E15	5.34	9.01	7.12
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	8.72	9.04	7.43
	Coltepunto	E18	9.71	9.58	-
	Puente Vía El Tranvía	E19	9.71	9.27	9.83
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	8.70	9.01	7.12
	Puente Molino	E21	8.72	9.01	7.28
	Box Couvert Km.26	E22	8.70	9.04	7.12
	Omya	E23	8.90	9.37	9.83

Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	8.70	9.04	7.15
	El Chagualo	E26	9.85	9.57	7.54
	Puente La Feria	E27	8.70	9.01	7.12
	Alcaravanes	E28	9.43	9.58	9.33
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	9.71	9.58	9.83
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	8.89	9.11	7.54

Al obtener el agrupamiento de las diferentes estaciones por medio del índice en las tres campañas se observan los siguientes patrones. En la campaña 1, el grupo 1 con valores altos del ICE integra las estaciones E18; Coltepunto, E19; Puente Vía El Tranvía, E26; El Chagualo, E28; Alcaravanes y E30; Las Delicias ese grupo se caracteriza por tener afectaciones como descarga de la PTAR del Carmen de Viboral en el tramo Flor Silvestre (E18), cargas contaminantes del sector productivo textilero (E19), descarga de la PTAR del municipio de El Santuario (E26) y la PTAR del municipio de Marinilla (E28). En este grupo de estaciones, la presencia de peces podría verse afectada, en especial para especies que son muy susceptibles a cambios bruscos en condiciones fisicoquímicas, debido a los impactos que se presentan en estos tramos de muestreo (Tabla 100 y Tabla 101).

El grupo 2 con los valores de ICE intermedio (amarillo) predominaron en esta campaña en estaciones como (E1; El Hierbal, E2; Montenevado, E5; Puente Real y E9; La Fresera; todas las estaciones de la fuente hídrica Río Negro. Estas estaciones se caracterizan por la presencia de troncos sobre el lecho y micro hábitats con buena oxigenación que hacen de los puntos de muestreo un buen sustrato para la colonización de algunos grupos de epifauna. También estaciones como (E11; Las Acacias, E13; Manzanares y E14; Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio), pertenecientes a la quebrada La Pereira. Esta condición se presenta probablemente por las alteraciones antrópicas que se evidencian en su mayoría por la agricultura intensiva (uso de riegos) y el pastoreo de ganado. La cobertura vegetal en las riberas de la quebrada es básicamente pastos dominantes con ausencia de vegetación nativa y especialmente de alto porte. El agua es turbia grisácea debido a la materia orgánica, por lo cual, se percibe olor de aguas residuales domésticas, E16 (Puente Larga) de la quebrada La Cimarrona, donde se presenta como impacto local tuberías de aguas residuales. Así



mismo E20; Romeral, E21; Puente Molino, E22; Box Couvert Km.26 y E23 Omya de la quebrada La Mosca afectadas por la descarga de la PTARD del municipio de Guarne, también E25 (La Amistad), donde está la estación de bombeo de aguas residuales en la quebrada La Marinilla y E27 (Puente La Feria) se encuentra aguas arriba la descarga de la PTAR del municipio de Santuario y descargas de aguas negras en el punto y finalmente E31 (Compañía Abajo) estación que no evidencia algún hito geográfico que pueda ser considerado dentro de la categoría impacto local sobre la corriente. El grupo 2 se caracteriza por descargas de aguas residuales e impactos locales sobre la corriente producidos por asentamientos urbanísticos y uso del suelo para ganado y agricultura (Tabla 40, Tabla 41 y Figura 42).

Finalmente, los valores más bajos del ICE que hacen parte del grupo 3 integran las estaciones E10 (Río Abajo) perteneciente a la fuente hídrica Río Negro y E15 (Casa Mia), perteneciente a la quebrada La Pereira, estas estaciones se caracterizan por sus buenas condiciones de calidad del agua, en especial, la temperatura, el pH y por otro lado condiciones como oxígeno disuelto bajo puede explicar porque el índice es más bajo ya que no se presentan las condiciones para el establecimiento de varios grupos de taxones de peces (Tabla 40, Tabla 41 y Figura 42).

Tabla 41. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Río Negro y afluentes. valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto-septiembre 2020). campaña 2 (diciembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Grupo	Campaña 1		Campaña 2		Campaña 3	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Grupo 1	9.43	9.85	9.01	9.58	9.33	9.83
Grupo 2	8.70	8.97	6.36	6.36	6.13	7.56
Grupo 3	1.38	5.34	1.61	1.61	1.29	2.99

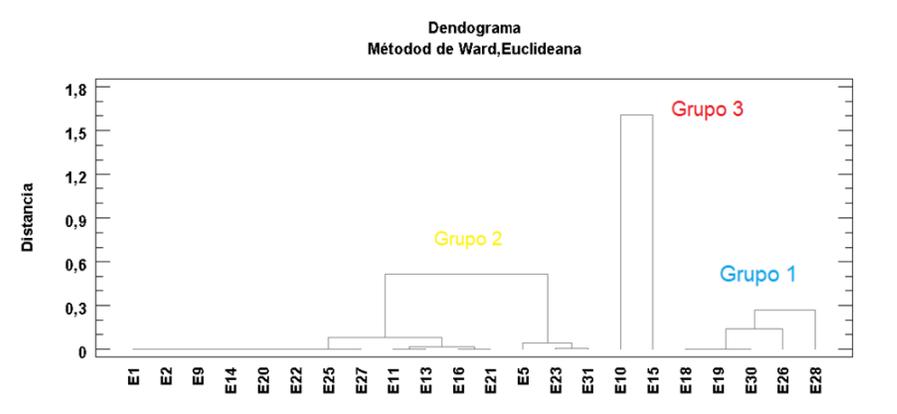


Figura 42. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1. Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

La segunda campaña presentó el primer grupo con altos valores del ICE (color azul), donde reunió la mayoría de estaciones, con un valor mínimo (9.01) en E1 (El Hierbal), E5 (Puente Real), E6 (Puente Antes EBAR Rionegro) del Río Negro, la estación E11 (Las Acacias) de la quebrada La Pereira, E15 (Casa Mia), E20 (Romeral) y E21 (Puente Molino) de la quebrada La Mosca y E27 (Puente La Feria) de la quebrada La Marinilla. Este grupo se caracteriza por presentar como impacto local cercanía a vías principales, comercio y casas, la extracción de material de playa y la deforestación evidente para construcción de ciclorruta, captación de agua para riego y descargas de las PTARD de Santuario (Tabla 40, Tabla 41 y Figura 42).

El segundo grupo estuvo representado por valores medios del ICE únicamente en una estación de la quebrada La Pereira (E14 Bocatoma Inactiva Río Negro-San Antonio). Por último, el tercer grupo con valores bajos del ICE (color rojo) solo estuvo presente la estación E10 (Río Abajo) del Río Negro. Este resultado, pudo haber sido influenciado por la abundancia de los taxones registrados, puesto que, en temporada de lluvias, es posible que se pierdan los microhábitats de las especies que allí se establecen, por lo que el esfuerzo de muestreo se dificulta en algunos puntos del tramo (Tabla 40, Tabla 41 y Figura 42).

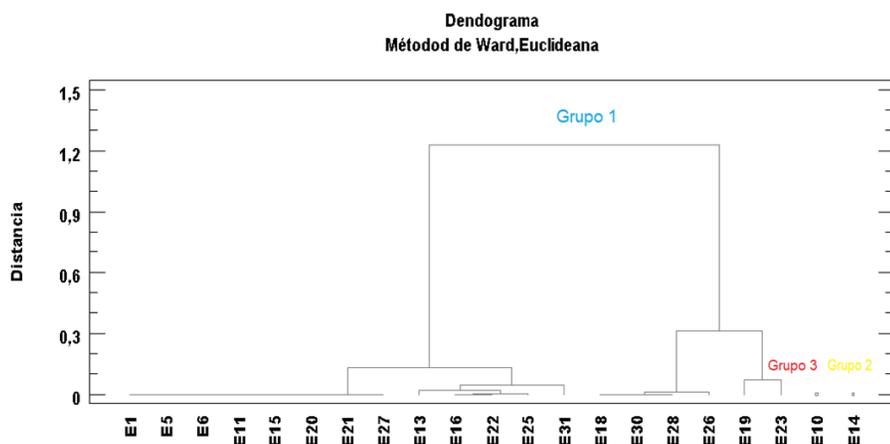


Figura 43. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 2. Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Para la tercera campaña los valores altos del ICE (color azul) correspondieron a pocas estaciones, contrario a lo que ocurrió en la campaña 2; siendo E28 (Alcaravanes) en la quebrada La Marinilla la estación que presentó el mínimo valor ICE (9.33) y E19 (Puente Vía El Tranvía) quebrada La Cimarrona, E23 (Omya) quebrada La Mosca y E30 (Las Delicias) quebrada Chachafruto a las estaciones que presentaron el mayor valor ICE (9.83). Estos sitios se caracterizan por estar en una zona urbana y de producción textil, además de producción de productos cosméticos, también se encuentra la descarga de la PTAR del municipio de Guarne (E23) y aguas arriba de la estación (E28) la descarga de la PTAR del municipio de El Santuario y la PTAR del municipio de Marinilla (Tabla 100, Tabla 101 y Figura 44).

Por otro lado, el segundo grupo presentó valores medios del ICE (color amarillo), en la mayoría de estaciones. De la fuente hídrica Río Negro (E1) El Hierbal, E9 (La Fresera), de quebrada La Pereira (E11) Las Acacias, E13 (Manzanares), E14 (Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio) y E15 (Casa Mia), de la quebrada La Cimarrona E16 (Puente Larga), de la quebrada La mosca E20 (Romerol), E21 (Puente Molino) y E22 (Box Couvert Km.26), de

la quebrada La Marinilla E25 (La Amistad), E26 (El Chagualo) y E27 (Puente La Feria) y quebrada El Salado E31 (La Compañía). Aunque algunos de estos sitios recogen las aguas residuales de varios sectores sin tratamiento de saneamiento de aguas residuales domésticas, la mayoría de estas estaciones presentaron condiciones favorables para el establecimiento de especies de peces, donde los sitios se encuentran sobre un valle extenso, lo que favorece que la velocidad de la corriente sea suave, ayudando a especies a colonizar microhábitats con baja corriente (Tabla 40, Tabla 41 y Figura 44).

Finalmente, el tercer grupo presentó valores bajos del ICE (color rojo) con únicamente tres estaciones de muestreo, que hacen parte del Río Negro E5 (Puente Real), E6 (Puente Antes EBAR Rionegro) y E10 (Río Abajo).

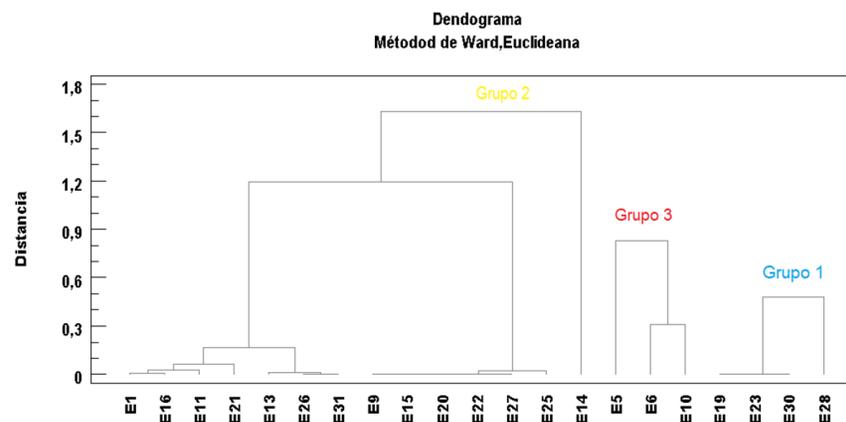


Figura 44. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la cuenca del Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 3. Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Finalmente se analizó la relación entre el índice de calidad ecológica con las variables fisicoquímicas que fueron admitidas en los modelos de correspondencia canónica en cada campaña, las cuales se presentan en la Tabla 42 Al revisar el listado de las variables que fueron admitidas en los

modelos de ACC no se observaron relaciones significativas y/o por encima de 0,5 con las variables. Teniendo en cuenta estos resultados, en la primera campaña, no se encontró relación alguna entre el índice y variables fisicoquímicas, en cambio y no siendo el mejor resultado la única variable relacionada para la segunda y tercera campaña fue el manganeso (Mn) ($p < 0.05$). Indicando que las especies de peces están contaminados metales como es el manganeso, lo cual se refleja en las concentraciones encontradas por encima del límite permisible (0.2 mg/L) (Min Agricultura, 1984). Se deben realizar estudios más profundos para evaluar la contaminación por tóxicos provenientes de curtiembres, cultivos de flores, acueducto y otros factores antrópicos que afectan la calidad de sus aguas, el bienestar de los recursos acuáticos que habitan la zona y su incidencia en el consumo humano (Tabla 42).

Tabla 42. Coeficientes de correlación de Spearman (r) entre el índice de calidad ecológica y las variables ambientales incluidas en los modelos de análisis de correlaciones canónicas (ACC) de las tres campañas de monitoreo en la cuenca del Río Negro y afluentes

Variable ambiental	Campaña 1		Variable ambiental	Campaña 2		Variable ambiental	Campaña 3	
	r	Valor p		r	Valor p		r	Valor p
Altura (m.s.n.m)	0.01	0.96	Altura (m.s.n.m)	0.10	0.67	Altura (m.s.n.m)	0.34	0.12
Caudal	-0.02	0.93	Caudal	-0.17	0.44	Caudal	-0.31	0.17
pH	0.24	0.27	pH	0.03	0.89	pH	0.34	0.12
Temperatura (°C)	0.38	0.08	Temperatura (°C)	0.14	0.54	Temperatura (°C)	-0.08	0.72
Conductividad eléctrica	0.12	0.59	Conductividad eléctrica	0.36	0.11	Conductividad eléctrica	0.32	0.15
Oxígeno disuelto (mg/L)	-0.20	0.37	Oxígeno disuelto (mg/L)	-0.29	0.20	Oxígeno disuelto (mg/L)	-0.37	0.10
Saturación de oxígeno (%)	-0.11	0.61	Saturación de oxígeno (%)	-0.27	0.23	Saturación de oxígeno (%)	-0.40	0.08
DBO5 (mg/L)	-0.03	0.90	DBO5 (mg/L)	0.13	0.56	DBO5 (mg/L)	0.15	0.50
DQO (mg/L)	0.08	0.70	DQO (mg/L)	0.07	0.75	DQO (mg/L)	0.22	0.32
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0.09	0.69	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0.11	0.61	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0.34	0.13
Fósforo total (mg/L)	-0.05	0.83	Fósforo total (mg/L)	0.20	0.38	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0.26	0.24
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0.14	0.52	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0.15	0.49	Sólidos totales (mg/L)	0.39	0.08
Sólidos totales (mg/L)	0.12	0.60	Sólidos totales (mg/L)	0.13	0.57	E. Coli (NMP)	0.20	0.37
E. Coli (UFC)	0.22	0.32	Nitratos (mg/L)	0.00	0.99	Coliformes totales (NMP)	0.05	0.82
Coliformes totales (UFC)	-0.08	0.72	Turbiedad (UNT)	0.08	0.71	Nitratos (mg/L)	0.08	0.73
Nitratos (mg/L)	-0.08	0.73	Alcalinidad total (mg/L)	0.38	0.09	Turbiedad (UNT)	0.39	0.08
Turbiedad (UNT)	-0.02	0.92	Nitritos (mg/L)	-0.42	0.06	Alcalinidad total (mg/L)	0.15	0.50
Alcalinidad total (mg/L)	-0.06	0.77	Ortofosfatos solubles (mg/L)	0.22	0.32	Nitritos (mg/L)	-0.21	0.34
Nitritos (mg/L)	0.21	0.35	E. Coli (NMP)	0.30	0.18	Ortofosfatos solubles (mg/L)	0.05	0.83
Ortofosfatos solubles (mg/L)	-0.13	0.56	Coliformes totales (NMP)	0.42	0.06	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	0.26	0.24



Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	0.13	0.55	Carbono orgánico total (mg/L)	-0.10	0.65	Carbono orgánico total (mg/L)	0.27	0.23
Carbono orgánico total (mg/L)	-0.21	0.33	Manganeso (mg/L)	0.48	0.03	Manganeso (mg/L)	0.56	0.01
Manganeso (mg/L)	0.18	0.41	Color real ($\lambda=525$)	0.10	0.66	Color ($\lambda=436$)	0.05	0.82
Color real ($\lambda=525$)	0.20	0.36	Color real ($\lambda=620$)	0.11	0.63	Color real ($\lambda=525$)	0.06	0.79
Color real ($\lambda=620$)	0.15	0.48	Betex ($\mu\text{g/L}$)	0.06	0.80	Color real ($\lambda=620$)	0.14	0.54
Betex ($\mu\text{g/L}$)	0,30	0,17						

*Variables con el coeficiente de correlación de Spearman (r) <0.05 .



FICOPERIFITON



Introducción

El perifiton es un componente fundamental de las comunidades bióticas donde juega un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas, así es como Wetzel (1983) define el perifiton como “una comunidad compleja de organismos, vivos o muertos (algas, bacterias, hongos, animales, detritos) fijados a un sustrato orgánico o inorgánico”. Funcionalmente, se considera un microcosmos donde los procesos internos y los intercambios con el medio externo ocurren simultáneamente (Montoya-Moreno & Aguirre, 2013).

Por lo tanto, la importancia del perifiton como productor primario dominante de los ecosistemas lóticos de montaña se atribuye a la captura de la energía lumínica, transformación en compuestos orgánicos (Hernandez, E., Jimenez, P & Toro, 2014) y sirven de alimento vivo (zooplancton, larvas, estadios juveniles de moluscos, crustáceos y peces herbívoros), a partir de las altas concentraciones de proteínas, carbohidratos y ácidos grasos presentes en su células (Acuicola et al., 2005; Montoya & Ramírez, 2007; Moreira, 1988). En este sentido, los ecosistemas acuáticos brindan a las comunidades algales un gran número de microambientes susceptibles de ser colonizados en tiempos muy cortos. El resultado de dichas interacciones ejerce una fuerte influencia sobre la distribución del perifiton, sus interacciones y adaptaciones (Bojorge-García & Cantoral-Uriza, 2007).

Entre los grupos más abundantes en el perifiton se encuentra las diatomeas (Bojorge-García & Cantoral-Uriza, 2007). Son especies abundantes y cosmopolitas, crecen en una amplia gama de hábitats (suelos, lagos, ríos y mares) y en condiciones ambientales muy variables. Aportan gran cantidad de energía a los ecosistemas acuáticos, ya que contribuyen con la productividad primaria y fijan alrededor del 20% de carbono del ambiente. Las variables físico-químicas como nutrientes, el pH y la composición

iónica son especialmente importantes para determinar la estructura y la diversidad de esta comunidad (Abuhatab, Y.A & Donato, 2012). Otro grupo importante en el perifiton son las cianobacterias, conocidas como uno de los principales indicadores de eutrofización en cuerpos de agua dulce, ya que sus floraciones son frecuentes en las aguas afectadas por el enriquecimiento de nutrientes (Baylón Coritoma et al., 2018).

Finalmente, su estudio es importante tanto desde la perspectiva ecológica para comprender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, pues su composición y estructura pueden servir como indicadores de la calidad del agua, proporciona una evaluación integral de las condiciones ambientales, las cuales son altamente variables en los ecosistemas naturales (IDEAM, 2018).

Composición del ensamblaje

En el área de las 31 estaciones de muestreo del Río Negro y afluentes, se registraron 101 taxones distribuidos en sesenta y siete (67) familias, treinta y ocho (38) órdenes, diecisiete (17) clases y nueve (9) divisiones. En términos de riqueza la división *Bacillariophyta* obtuvo el mejor registro con 39 representantes, en segundo lugar, la división *Cyanobacteria* con 22 taxones y *Chlorophyta* con un aporte de 14 taxones. Por su parte la división *Charophyta* obtuvo un registro con 7 taxones, seguido de *Euglenozoa* con una riqueza de 6 taxones, *Ochrophyta* con 4 taxones, *Cryptophyta* con 3 taxones, *Rhodophyta* con 2 taxones y *Miozoa* con 1 género en las tres campañas de monitoreo (Tabla 44).

Tabla 44. Composición taxonómica del ficoperifiton registrado en 31 estaciones de muestreo en el Río Negro y afluentes. Durante tres campañas de muestreo C1: agosto de 2020, C2: noviembre de 2020 y C3: febrero de 2021.

División; Clase	Orden	Familia	Taxones	C1	C2	C3
Bacillariophyta						
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Hantzschia sp.</i>			X
			<i>Nitzschia sp.</i>	X	X	X
	Cocconeidales	Achnanthesiaceae	<i>Achnanthes sp.</i>			X
			<i>Lemnicola sp.</i>	X		
			<i>Planothidium sp.</i>	X		
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis sp.</i>	X	X	X
	Cymbellales	Anomoeoneidaceae	<i>Anomoeoneis sp.</i>	X		
		Cymbellaceae	<i>Cymbella sp.</i>	X	X	X
			<i>Cymbopleura sp.</i>	X	X	X
		Gomphonemataceae	<i>Encyonema sp.</i>			X
			<i>Gomphonema aff. acuminatum</i>	X		
			<i>Gomphonema sp.</i>	X	X	X
			<i>Reimeria sp.</i>		X	
	Rhoicospheniaceae	<i>Rhoicosphenia sp.</i>	X	X		
	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia sp.</i>	X	X	X
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria sp.</i>	X	X	X
			<i>Fragilariforma sp.</i>	X		
			<i>Synedra sp.</i>	X		
	Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Ulnaria sp.</i>		X	X
	Mastogloiales	Achnanthesiaceae	<i>Achnanthes sp.</i>	X		X
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Amphipleura sp.</i>	X	X	
			<i>Frustulia sp.</i>	X		X
		Brachysiraceae	<i>Nupela sp.</i>		X	X
		Diadesmidaceae	<i>Luticola sp.</i>	X	X	X
		Diploneidaceae	<i>Diploneis sp.</i>			X
		Naviculaceae	<i>Capartogramma sp.</i>	X		
			<i>Gyrosigma sp.</i>	X	X	X

División; Clase	Orden	Familia	Taxones	C1	C2	C3	
			<i>Navicula sp.</i>	X	X	X	
			<i>Placoneis sp.</i>	X			
		<i>Neidiaceae</i>	<i>Neidium sp.</i>	X			
		<i>Sellaphoraceae</i>	<i>Sellaphora sp.</i>	X	X	X	
		<i>Stauroneidaceae</i>	<i>Stauroneis sp.</i>	X			
	<i>Rhopalodiales</i>	<i>Rhopalodiaceae</i>	<i>Rhopalodia sp.</i>	X	X	X	
	<i>Sellaphorineae</i>	<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia sp.</i>	X	X	X	
	<i>Surirellales</i>	<i>Surirellaceae</i>	<i>Surirella sp.</i>	X		X	
<i>Coscinodiscophyceae</i>	<i>Aulacoseirales</i>	<i>Aulacoseiraceae</i>	<i>Aulacoseira sp.</i>	X		X	
	<i>Melosirales</i>	<i>Melosiraceae</i>	<i>Melosira sp.</i>	X	X	X	
<i>Fragilariophyceae</i>	<i>Tabellariales</i>	<i>Tabellariaceae</i>	<i>Tabellaria sp.</i>	X	X	X	
<i>Mediophyceae</i>	<i>Thalassiosirales</i>	<i>Stephanodiscaceae</i>	<i>Cyclotella sp.</i>	X	X	X	
<i>Charophyta</i>							
<i>Zygnematophyceae</i>	<i>Desmidiiales</i>	<i>Closteriaceae</i>	<i>Closterium sp.</i>		X	X	
		<i>Desmidiaceae</i>	<i>Cosmarium sp.</i>	X		X	
			<i>Hyalotheca sp.</i>			X	
	<i>Zygnematales</i>	<i>Mesotaeniaceae</i>	<i>Cylindrocystis sp.</i>	X			
			<i>Spirotaenia sp.</i>	X			
		<i>Zygnemataceae</i>	<i>Mougeotia sp.</i>	X	X		
			<i>Spirogyra sp.</i>	X	X	X	
<i>Chlorophyta</i>							
<i>Ulvophyceae</i>	<i>Cladophorales</i>	<i>Cladophoraceae</i>	<i>Cladophora sp.</i>	X	X	X	
	<i>Ulotrichales</i>	<i>Binucleariaceae</i>	<i>Binuclearia sp.</i>	X			
		<i>Ulotrichaceae</i>	<i>Ulothrix sp.</i>	X		X	
<i>Chlorophyceae</i>	<i>Chaetophorales</i>	<i>Chaetophoraceae</i>	<i>Chaetophora sp.</i>	X	X	X	
			<i>Stigeoclonium sp.</i>	X		X	
	<i>Oedogoniales</i>	<i>Oedogoniaceae</i>	<i>Oedogonium sp.</i>	X	X	X	
	<i>Sphaeropleales</i>	<i>Hydrodictyceae</i>	<i>Pediastrum sp.</i>	X		X	
			<i>Stauridium sp.</i>		X	X	
		<i>Microsporaceae</i>	<i>Microspora sp.</i>		X		
		<i>Scenedesmaceae</i>	<i>Coelastrum sp.</i>				X
			<i>Desmodesmus sp.</i>	X			X
		<i>Pectinodesmus sp.</i>	X		X		

División; Clase	Orden	Familia	Taxones	C1	C2	C3	
			<i>Scenedesmus sp.</i>	X	X	X	
			<i>Tetrastrum sp.</i>			X	
		<i>Selenastraceae</i>	<i>Ankistrodesmus sp.</i>			X	
			<i>Monoraphidium sp.</i>			X	
			<i>Selenastrum sp.</i>			X	
<i>Cryptophyta</i>							
<i>Cryptophyceae</i>	<i>Cryptomonadales</i>	<i>Cryptomonadaceae</i>	<i>Cryptomonas sp.</i>	X	X	X	
		<i>Hemiselmidae</i>	<i>Chroomonas sp.</i>			X	
	<i>Pyrenomonadales</i>	<i>Pyrenomonadaceae</i>	<i>Rhodomonas sp.</i>	X			
<i>Cyanobacteria</i>							
<i>Cyanophyceae</i>	<i>Chroococcales</i>	<i>Chroococcaceae</i>	<i>Chroococcus sp.</i>			X	
		<i>Microcystaceae</i>	<i>aff. Microcystis</i>	X			
			<i>Microcystis sp.</i>		X	X	
			<i>Sphaerocavum sp.</i>	X	X		
	<i>Chroococciopsidales</i>	<i>Chroococciopsidaceae</i>	<i>Chroococciopsis sp.</i>		X		
	<i>Nostocales</i>	<i>Aphanizomenonaceae</i>	<i>Anabaenopsis sp.</i>		X		
			<i>Aphanizomenon sp.</i>		X		
			<i>Raphidiopsis sp.</i>	X			
		<i>Calothricaceae</i>	<i>Calothrix sp.</i>			X	
		<i>Hapalosiphonaceae</i>	<i>Hapalosiphon sp.</i>		X	X	
		<i>Nostocaceae</i>	<i>Nostoc sp.</i>		X		
	<i>Oscillatoriales</i>	<i>Gomontiellaceae</i>	<i>Komvophorom sp.</i>		X		
		<i>Microcoleaceae</i>	<i>Planktothrix sp.</i>			X	
		<i>Oscillatoriaceae</i>	<i>Blennothrix sp.</i>				X
			<i>Lyngbya sp.</i>	X	X	X	
			<i>Oscillatoria sp.</i>	X	X	X	
			<i>Phormidium sp.</i>		X	X	
	<i>Synechococcales</i>	<i>Coelosphaeriaceae</i>	<i>Woronichinia sp.</i>			X	
		<i>Merismopediaceae</i>	<i>Aphanocapsa sp.</i>		X	X	
		<i>Pseudanabaenaceae</i>	<i>Pseudanabaena sp.</i>	X	X	X	
<i>Synechococcales familia incertae sedis</i>		<i>Heteroleibleinia sp.</i>		X			

División; Clase	Orden	Familia	Taxones	C1	C2	C3
			<i>Schizothrix sp.</i>		X	X
<i>Euglenozoa</i>						
<i>Entosiphonea</i>	<i>Entosiphonida</i>	<i>Entosiphonidae</i>	<i>Entosiphon sp.</i>		X	
<i>Euglenophyceae</i>	<i>Euglenida</i>	<i>Euglenidae</i>	<i>Euglena sp.</i>	X	X	X
			<i>Phacus sp.</i>	X	X	X
		<i>Phacidae</i>	<i>Lepocinclis sp.</i>	X		X
<i>Stavomonadea</i>	<i>Petalomonadida</i>	<i>Scytomonadidae</i>	<i>Petalomonas sp.</i>	X	X	
<i>Miozoa</i>						
<i>Dinophyceae</i>	<i>Gonyaulacales</i>	<i>Ceratiaceae</i>	<i>Ceratium sp.</i>		X	X
<i>Ochrophyta</i>						
<i>Chrysophyceae</i>	<i>Chromulinales</i>	<i>Chromulinaceae</i>	<i>Ochromonas sp.</i>			X
		<i>Dinobryaceae</i>	<i>Dinobryon sp.</i>		X	X
<i>Synurophyceae</i>	<i>Synurales</i>	<i>Mallomonadaceae</i>	<i>Mallomonas sp.</i>	X		X
<i>Xantophyceae</i>	<i>Mischococcales</i>	<i>Characiopsidaceae</i>	<i>Characiopsis sp.</i>		X	
<i>Rhodophyta</i>						
<i>Florideophyceae</i>	<i>Acrochaetiales</i>	<i>Acrochaetiaceae</i>	<i>Audouinella sp.</i>	X	X	X
	<i>Batrachospermales</i>	<i>Batrachospermaceae</i>	<i>Batrachospermun sp.</i>	X	X	

En las tres campañas de muestreo se registró un total de 856.940 ind/cm². Donde la división con mejor aporte fue *Bacillariophyta* con el 67.44% (577.925 ind/cm²), en segundo lugar, se encuentra la división *Cyanobacteria* con un registro del 26,76% (229.339 ind/cm²) y en tercer lugar, la división *Chlorophyta* con el 3.33% (28.561 ind/cm²). Las demás divisiones aportaron al ensamble el 2.46%; como fue el caso de la división *Euglenozoa*, *Charophyta*, *Cryptophyta*, *Ochrophyta*, *Rhodophyta* y *Miozoa* con un registro a la densidad de 21.115 ind/cm² (Figura 46).

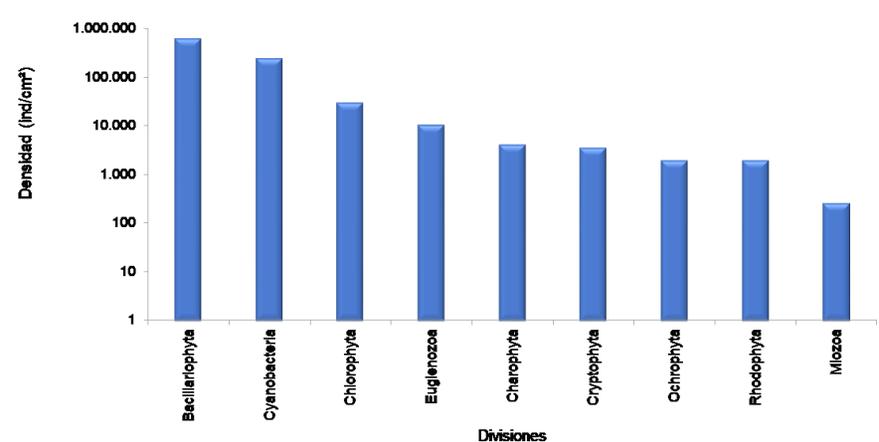


Figura 46. Densidad (ind/cm²) de las divisiones del ficoperifiton registrado en 31 estaciones de muestreo en el Río Negro y afluentes. Durante tres campañas de muestreo C1: agosto de 2020, C2: noviembre de 2020 y C3: febrero de 2021.

Estructura de ensamblajes

Distribución de la densidad

A nivel temporal en las tres campañas monitoreadas, se obtuvo un valor máximo en términos de densidad total de 594.769 ind/cm² en el periodo de febrero de 2021 (prom: 19.186 ± 35.213 ind/cm²; CV:184%). Sin embargo, se registró valores mínimos al periodo hidrológico anterior (noviembre de 2020) con una densidad total de 151.957 ind/cm² (prom: 4.902 ± 3.847 ind/cm² con un CV: 78%) y agosto de 2020 con un valor 110.215 ind/cm² (prom: 3.555 ± 3.522 ind/cm² con un CV: 99%). Se observa que estos últimos dos periodos presentan baja variabilidad con respecto a la campaña de febrero correspondiente a época seca (Tabla 45 y Figura 47).

La variación espacial por tramo evaluado en las 31 estaciones de tres periodos hidrológicos, se obtuvo el valor máximo registrado en la estación Manzanares (E13) con 212.740 ind/cm² (prom: 70.913 ± 108.668 ind/cm²) obteniendo un rango de variación amplio (CV:153%). En segundo lugar, estuvo la estación La Fresera (E9) con una densidad de 77.016 ind/cm² (prom: 25.672 ± 38.867 ind/cm²) y una variación muy alta (CV:151%), y en último lugar se destaca Puente Colegio Guillermo Gaviria (E29) con 48.333 ind/cm² (prom: 16.111 ± 1.202 ind/cm²) y un bajo porcentaje de variación (CV:7%). Los dos primeros tramos estudiados se encuentran influenciados de descargas de aguas residuales. Por lo tanto, se evidencia

que las miro-algas aprovechan mejor los nutrientes y/o materia orgánica de dichas descargas para su reproducción y crecimiento (Roldán G., Restrepo, 2008).

Se ha considerado que las tasas de producción primaria dependen del área y tipo del sustrato disponible para la colonización del ficoperifiton y la morfometría del sistema acuático (Mochini-Carlos, 1999). Cabe mencionar que hay otros factores ambientales que alteran o mantienen el equilibrio del ensamblaje (exposición a la luz, temperatura, conductividad, pH, materia orgánica, concentración de metales y velocidad de la corriente) (Gallego, 2019; Montoya, Y., Restrepo, J.J & Segecin, 2008).

Las densidades mínimas registradas en agosto y noviembre de 2020 podría explicarse a través de las variables ambientales en la estructuración de las micro-algas en los tramos estudiados. Según Flynn et al, 2002 los factores que controlan el crecimiento del perifiton son específicos de cada estación y ellos varían espacial y temporalmente (Flynn, N., D. Snook, 2002). Esto evidencia que algunas estaciones están fuertemente influenciadas por actividades antrópicas o naturales que se vienen desarrollando en el río Negro y afluentes.

Tabla 45. Distribución de la densidad del ficoperifiton registrado en el Río Negro y afluentes. Durante tres campañas de muestreo C1: agosto de 2020, C2: noviembre de 2020 y C3: febrero de 2021

Fuente Hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3	Total (ind/cm ²)
Río Negro	El Hierbal	E1	8.300	2.807	5.370	16.477
	Montenevado	E2	2.807	2.441	5.737	10.985
	Charco Manso	E3	976	8.422	22.702	32.100
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	3.662	3.051	10.497	17.210
	Puente Real	E5	1.953	2.319	10.253	14.524
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	1.587	7.079	11.839	20.505
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	6.103	7.689	18.796	32.588
	Puente Autopista	E8	3.662	2.685	7.567	13.914
	La Fresera	E9	2.685	3.784	70.547	77.016
	Río Abajo	E10	2.197	3.051	4.882	10.130
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	2.441	6.347	7.079	15.867
	San Sebastián	E12	9.398	2.929	10.985	23.312
	Manzanares	E13	3.295	13.182	196.263	212.740
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	2.563	1.343	23.434	27.340
	Casa Mia	E15	3.051	1.465	9.154	13.670
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	2.441	1.587	14.158	18.186
	Flor Silvestre	E17	366	7.934	30.513	38.813
	Coltepunto	E18	610	488	7.079	8.178
	Puente Vía El Tranvía	E19	2.441	1.953	8.056	12.449
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	4.394	3.051	7.079	14.524
	Puente Molino	E21	1.465	7.201	3.418	12.083
	Box Couvert Km.26	E22	2.319	12.205	5.614	20.139
	Omya	E23	732	2.929	10.375	14.036
	Riotex	E24	1.221	2.807	16.843	20.871

Fuente Hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3	Total (ind/cm ²)
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	9.642	5.492	5.492	20.627
	El Chagualo	E26	732	3.051	5.737	9.520
	Puente La Feria	E27	2.319	1.098	3.173	6.591
	Alcaravanes	E28	4.394	10.375	24.289	39.057
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	17.454	15.745	15.135	48.333
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	732	4.882	5.737	11.351
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	4.272	2.563	16.965	23.801
Total, densidad (ind/cm ²)			110.215	151.957	594.769	856.940
Mínimo			366	488	3.173	6.591
Máximo			17.454	15.745	196.263	212.740
Promedio			3.555	4.902	19.186	27.643

Se evidencia que la época seca (febrero de 2021) presenta mejor disponibilidad de sustratos razón por la cual el perifiton puede desarrollarse en sustratos con mejor estabilidad y donde la acción de la corriente es mínima, y como preferencia a las velocidades moderadas o rápidas se encuentran el grupo de las diatomeas predominantes en el ensamble, las cuales tienen cojines mucilaginosos que les permiten adherirse a los sustratos (Roldán G., Restrepo, 2008).

Con respecto a cada fuente hídrica se tiene que, la quebrada La Pereira registró la mejor densidad con un valor de 292.929 ind/cm² (prom: 97.643± 129.293 ind/cm²; CV:132%) y el Río Negro con 245.450 ind/cm² (prom: 81.817± 74.949 ind/cm²; CV:92%). Por su parte, las quebradas con mínimos valores fueron Chachafruto con 3.784 ind/cm² (prom: 3.784 ± 2.677 ind/cm²; CV:71%), El Salado con 23.801 ind/cm² (prom: 7.934 ± 7.868 ind/cm²; CV:99%) y Yarumal con un registro de 48.333 ind/cm² (prom: 16.111 ± 1.202 ind/cm²; CV:7%). Figura 47. Ya que presentó un solo tramo de muestreo en cada una de ellas.

Entre tanto, la alta densidad de la quebrada La Pereira y el Río Negro puede estar relacionado a lo anteriormente mencionado y a la materia orgánica (DBO, DQO, nutrientes, entre otros) por parte de las descargas de aguas residuales en los puntos de monitoreo, donde se observó masas de algas filamentosas en los sistemas estudiados. Estos resultados los

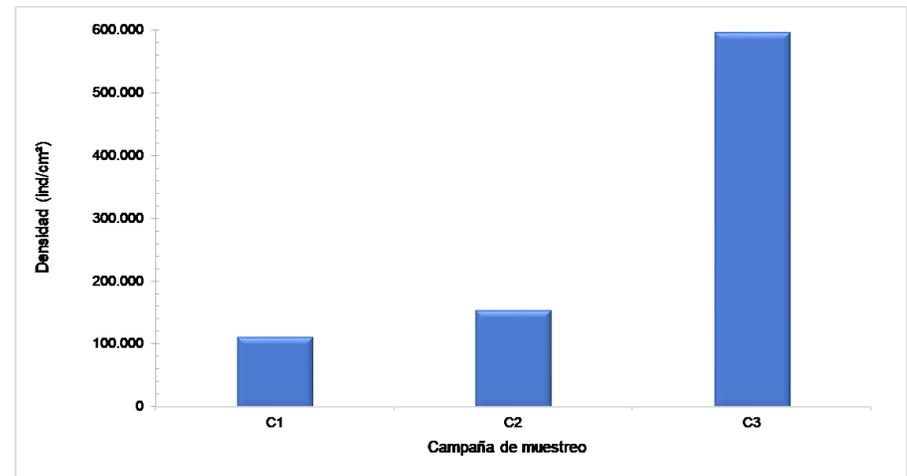


Figura 47. Distribución de la densidad (ind/cm²) del ficoperifiton registrado en el Río Negro y afluentes. Durante tres campañas de muestreo C1: agosto de 2020, C2: noviembre de 2020 y C3: febrero de 2021.

soporta el estudio realizado por Hernández-Atilano et al., (2005) donde estudiaron la variación espacio temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca La Vega (Antioquia) y como conclusión se encontró que la disponibilidad de sustratos y nutrientes pueden influenciar la densidad algal.

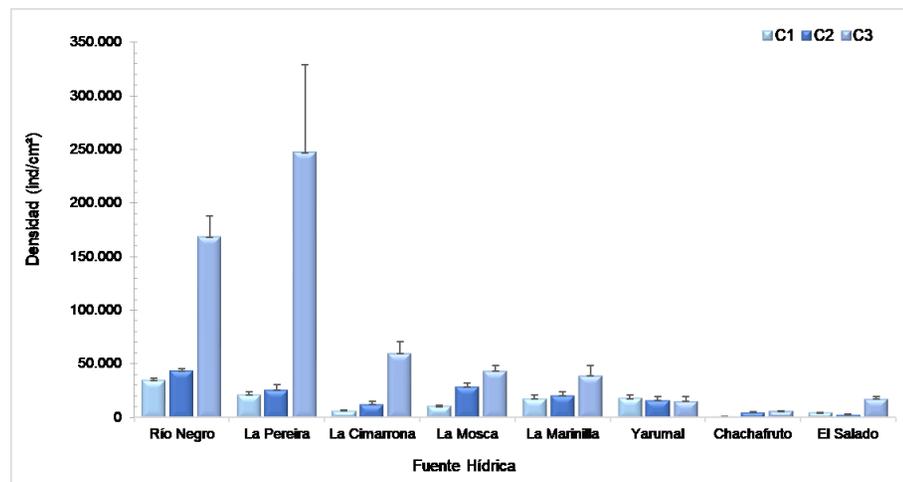


Figura 48. Densidad total (ind/cm²) del ficoperifiton registrado en 8 fuentes hídricas del Río Negro y afluentes. Durante tres campañas de muestreo C1: agosto de 2020, C2: noviembre de 2020 y C3: febrero de 2021.

Análisis de la distribución de la densidad del Ficoperifiton

La alta densidad del ensamble ficoperifítico se encuentra relacionado con la velocidad de la corriente, la intensidad y calidad de la luz incidente, la temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, la concentración de nutrientes, el estado trófico, herbivoría, abundancia de macrófitas, la calidad del sustrato, la velocidad del agua y a condiciones de calidad del agua, como las variables asociadas a la acumulación de perifiton en los diferentes sustratos (Montoya-Moreno & Aguirre, 2013). En general, estos organismos presentes en esta evaluación se caracterizan por presentar tamaños relativamente pequeños y características morfológicas simila-

res. De esta manera el proceso de acumulación de biomasa se presenta en tres fases: colonización, crecimiento logarítmico y en cima asintótica. Se describe un patrón de la colonización del perifiton el cual inicialmente forma un revestimiento orgánico. Este sustrato orgánico constituye una superficie de fijación de los demás colonizadores, que en su mayoría son las diatomeas de bajo perfil (*Navicula* sp. y *Nitzschia* sp.). Luego se presenta una segunda etapa de agrupamiento, crecimiento y formación de la matriz extracelular (Roldán G., Restrepo, 2008). Aparecen las diatomeas de largo perfil pedunculadas y organizadas en rosetas; después llegan las clorofíceas y cianoprocaritas filamentosas (*Lyngbya* sp. y *Pseudanabaena* sp. (Montoya-Moreno & Aguirre, 2013).

Bieología

Los géneros de mejor densidad en este estudio, por lo general fueron de pequeño tamaño, y se caracterizan por presentar alto grado de dispersión y su distribución es cosmopolita. Las diatomeas han sido consideradas a nivel general como colonizadoras rápidas y eficientes, al ser capaces de ocupar sustratos en un corto lapso de tiempo, el cual puede variar desde un día hasta varias semanas (Rodrigues, L., 2003). La mayor parte de sus representantes presentan estructuras especializadas de fijación al sustrato, como pedúnculos mucilaginosos largos y cortos, producción de matrices mucilaginosas y colonias en forma de estrella o ramo fijadas por la base (Round. et al., 1990). Sus diminutos tamaños permiten que sus representantes tengan rápida fijación en superficies menores, no accesibles a competidores mayores (Rodrigues, L., 2003). Por estas razones, las diatomeas son favorecidas en sistemas con velocidades de corriente moderadas a altas (Horner et al., 1990). De acuerdo con Winter (2000), las diatomeas presentan ventajas competitivas respecto a otros grupos algales en ambientes con bajas a moderadas concentraciones de fósforo.

La presencia *Navicula* sp. en este estudio se debe a su amplia diversidad de formas, con más de 10.000 especies. Son de hábito preferiblemente bentónico, pero también puede formar parte del plancton debido a sus características morfológicas como el pequeño tamaño y la capacidad de movimiento (Round et al., 1990). Pueden crecer en ambientes que son desfavorables para otros organismos, como por ejemplo la poca dis-

ponibilidad de luz o la carencia de CO₂, debido a la presencia de ácidos grasos, acetatos y carbonatos (sustancias con alto valor energético) que están presentes en su estructura (Restrepo, 2000). El género *Nitzschia* sp. pertenece a los hábitats bentónicos crece fácilmente en microhábitats de baja luminosidad en lagos profundos o en ríos con alta turbiedad. La mayoría de las especies pueden estar presentes en ambientes lenticos y loticos, este género es conocido por su tolerancia a altos grados de contaminación y presenta especies indicadores de calidad del agua deteriorada (Round et al., 1990).

En general, la gran mayoría de taxa presentes en este estudio exhibe amplia tolerancia a la contaminación. Según Ramírez (1998) las cianofíceas son el grupo más generalista el cual poseen rangos medios de tolerancia ambiental, suelen ser más abundantes en aguas enriquecidas por materia orgánica (eutrofizadas), se caracterizan por requerir menos energía que otros grupos de algas para mantener su estructura y función celular y alcanzan altas tasas de crecimiento cuando la intensidad de la luz es baja (Montoya-Moreno & Aguirre, 2013; Ramírez, 1998). Presenta formas unicelulares y pluricelulares, predominando en estas últimas las formas filamentosas. Su reproducción es asexual, por hormogonios, esporas y aquinetos (Roldán G., Restrepo, 2008).

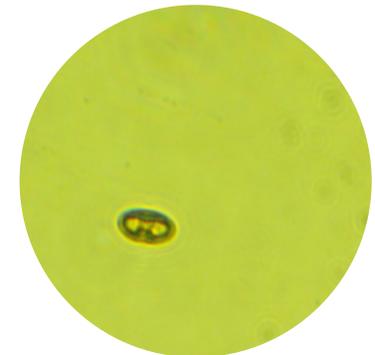
Muchas de las cianofitas, principalmente las de la familia *Oscillatoriaceae*, poseen movimiento bien sea hacia adelante y atrás o en forma pendular. Estos movimientos son afectados por la luz y la temperatura en forma directa y parecen deberse a la excreción de mucilago a través de los diminutos poros de la pared celular (Restrepo, 2000). En el caso de *Lyngbya* sp., una característica morfológica como la presencia de vaina mucilaginosas, podría significar un tipo de ventaja ante eventos de desecación cuando los sustratos quedan expuestos y sin humectación (Adela & Toja, 2003). Por otro lado, la micro-alga *Pseudanabaena* sp., perteneciente a la clase *Oscillatoriales* se caracteriza por estar en ambientes loticos y lenticos, algunas especies pueden ser subáreas. Su reproducción puede ser por hormogonios (Bicudo & Menezes, 2017). La micro-alga *Oscillatoria* sp., formada por largos filamentos de células aplanadas y sin vaina mucilaginosas de color verde oscuro, muy común en los tapetes microbianos en ambientes dulceacuícolas y sobre todo en presencia de altas cargas orgánicas (Fuemayor, G., Jonte, L., Rosales, 2009).

Las *clorofíceas* contrario a las *cianofíceas*, exponen las tolerancias más estrechas y son favorecidas por el incremento de fósforo y las euglenofí-

ceas predominan en aguas de mayor temperatura, concentraciones iónicas elevadas al igual que la carga orgánica (Montoya-Moreno & Aguirre, 2013). A continuación se presenta el registro fotográfico de los taxones más representativos de las tres campañas de muestreo en el Río Negro y afluentes.



Cymbella sp.



Cocconeis sp.



Pinnularia sp.



Reimeria sp.



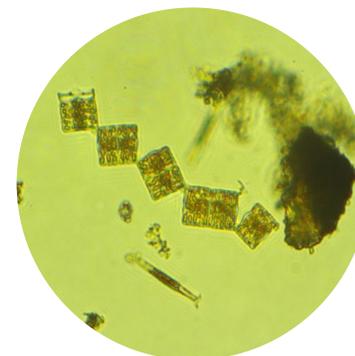
Lyngbya sp.



Navicula sp.



Melosira sp.



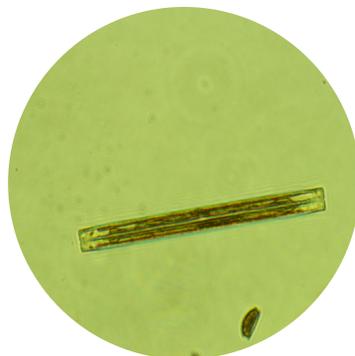
Tabellaria sp.



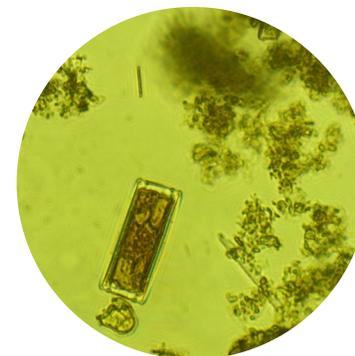
Pseudanabaena sp.



Nitzschia sp.



Fragilaria sp.



Eunotia sp.



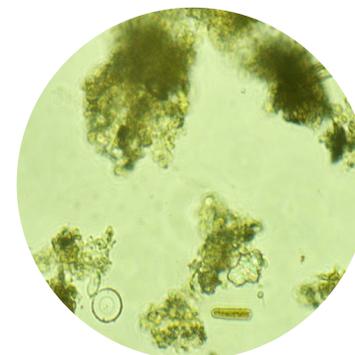
Oscillatoria sp.



Gomphonema sp.



Trachelomonas sp.



Cyclotella sp.

Fotografía 1 Taxones más representativos en 31 estaciones de muestreo en el Río Negro y afluentes- en tres periodos hidrológicos.

Fuente: Ana Milena Zapata Toro. 2020-2021.

Índice de calidad ecológica

Los resultados del índice de calidad ecológica con base en la comunidad de perifiton en la Cuenca Río Negro y afluentes indicaron que las relaciones entre las variables fisicoquímicas y la abundancia de las especies de dicha comunidad corresponden a modelos lineales para las tres campañas de muestreo. Luego de estandarizar las matrices, el análisis evidenció una longitud del gradiente en el primer eje de 3.19, 3.44 y 3.05 unidades de desviación estándar (SD) para la primera, segunda y tercera campaña respectivamente (Anexo ICE Perifiton C1, C2 y C3). Estos valores fueron determinados a partir de un análisis de correlaciones sin tendencia (DCA). Esta longitud de gradiente sugiere que ambos modelos lineales o unimodales pueden ajustarse adecuadamente a la información, por lo cual se evaluaron ambos modelos y la mejor explicación de la variabilidad fue dada por los modelos de redundancia canónica (RDA) para las tres campañas de monitoreo.

Después de ejecutar los modelos de redundancia canónica RDA para los tres monitoreos se obtuvo un valor p de 0.43, 0.84 y 0.61 en la primera, segunda y tercera campaña respectivamente. Debido a que estos valores son superiores a 0.05 los modelos no fueron significativos; lo cual sugiere que el modelo de relación entre las algas perifíticas y parámetros fisicoquímicos requiere potenciar la robustez de las relaciones multivariadas. A pesar de la ausencia de significancia de los modelos el índice de calidad ecológico puede ser analizado en sus tendencias teniendo la discreción pertinente que la relaciones no son sólidas y necesitarán de una mayor cantidad de datos para, en principio, buscar su significancia.

Después del reescalamiento por medio de una regresión lineal de los datos, en la Tabla 46. se presentan los valores óptimos y de tolerancia con los que fueron escalonados para cada una de las especies que se encuentran presentes en las 31 estaciones de los tres muestreos en la Cuenca Río Negro y afluentes. Estos valores se obtuvieron a partir de un

promedio ponderado de las abundancias con relación a los valores reescalados que provienen de los análisis de los modelos RDA ejecutados, los cuales reúnen la mayor varianza explicada de la relación entre las variables ambientales y la abundancia de algas perifíticas en las diferentes estaciones.

La tendencia de los resultados en cuanto a los óptimos y tolerancias de las especies en las tres campañas se observa en la Tabla 46.. Donde diferentes taxones obtuvieron un valor óptimo por encima de 7, en la primera campaña (*Lyngbya sp.*, *Spirogyra sp.* y *Pseudanabaena sp.*) y segunda campaña (*Lyngbya sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Rhoicosphenia sp.*, *Fragilaria sp.* y *Trachelomonas sp.*). Sin embargo, el valor óptimo de la tercera campaña estuvo por encima de 8 con 9 taxa: *Euglena sp.*, *Gomphonema sp.*, *Lyngbya sp.*, *Melosira sp.*, *Oedogonium sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Pseudanabaena sp.*, *Surirella sp.* y *Spirogyra sp.* La frecuencia y abundancia de varias especies con altos óptimos corroboran que existe una buena adaptación a las condiciones ambientales de la Cuenca Río Negro y afluentes, y en primera instancia son organismos que pueden brindar soporte al seguimiento del comportamiento de la misma.

Tabla 46. Valores óptimos y de tolerancia de cada una de las especies de perifiton registrados en los 31 puntos durante la primera, segunda y tercera campaña de monitoreo respectivamente, en la Cuenca Río Negro y afluentes.

Campaña 1			Campaña 2			Campaña 3		
Género	Óptimo	Tolerancia	Género	Óptimo	Tolerancia	Género	Óptimo	Tolerancia
<i>Audouinella sp.</i>	4.86	3.61	<i>Chaetophora sp.</i>	2.78	4.01	<i>Ankistrodesmus sp.</i>	7.27	1.43
<i>Cocconeis sp.</i>	5.13	2.38	<i>Cocconeis sp.</i>	2.74	1.77	<i>Aphanocapsa sp.</i>	5.24	2.85
<i>Cyclotella sp.</i>	6.29	1.70	<i>Cymbella sp.</i>	3.75	2.74	<i>Audouinella sp.</i>	7.93	1.09
<i>Cymbella sp.</i>	4.52	2.75	<i>Euglena sp.</i>	4.88	2.51	<i>Chaetophora sp.</i>	2.65	5.40
<i>Euglena sp.</i>	4.79	2.69	<i>Eunotia sp.</i>	3.97	2.97	<i>Cladophora sp.</i>	6.96	3.18
<i>Eunotia sp.</i>	4.47	2.31	<i>Fragilaria sp.</i>	7.55	2.99	<i>Closterium sp.</i>	6.88	1.95
<i>Fragilaria sp.</i>	5.27	2.72	<i>Gomphonema sp.</i>	4.55	3.44	<i>Cocconeis sp.</i>	5.87	3.05
<i>Frustulia sp.</i>	5.37	3.14	<i>Lyngbya sp.</i>	7.70	2.32	<i>Cryptomonas sp.</i>	4.53	4.54
<i>Gomphonema sp.</i>	6.04	2.93	<i>Melosira sp.</i>	3.02	1.66	<i>Cyclotella sp.</i>	6.23	2.98
<i>Luticola sp.</i>	3.75	2.33	<i>Mougeotia sp.</i>	6.04	3.63	<i>Cymbella sp.</i>	7.51	2.27
<i>Lyngbya sp.</i>	7.64	3.02	<i>Navicula sp.</i>	3.52	2.93	<i>Euglena sp.</i>	8.27	2.26
<i>Melosira sp.</i>	5.11	2.90	<i>Nitzschia sp.</i>	5.47	2.95	<i>Eunotia sp.</i>	7.94	1.74
<i>Navicula sp.</i>	5.50	3.08	<i>Oscillatoria sp.</i>	7.00	2.74	<i>Fragilaria sp.</i>	6.57	2.29
<i>Nitzschia sp.</i>	5.08	3.90	<i>Pinnularia sp.</i>	6.01	2.56	<i>Gomphonema sp.</i>	8.13	1.79
<i>Oscillatoria sp.</i>	5.67	3.81	<i>Pseudanabaena sp.</i>	6.66	2.38	<i>Luticola sp.</i>	7.46	2.41
<i>Pinnularia sp.</i>	4.67	2.24	<i>Rhicosphenia sp.</i>	7.54	3.94	<i>Lyngbya sp.</i>	8.85	2.64
<i>Placoneis sp.</i>	3.46	3.01	<i>Trachelomonas sp.</i>	7.41	3.29	<i>Melosira sp.</i>	8.20	1.06
<i>Pseudanabaena sp.</i>	7.51	2.05				<i>Navicula sp.</i>	6.52	2.98
<i>Sellaphora sp.</i>	4.06	2.49				<i>Nitzschia v</i>	3.42	4.67
<i>Spirogyra sp.</i>	7.28	1.50				<i>Oedogonium sp.</i>	8.66	0.83
<i>Trachelomonas sp.</i>	5.27	2.51				<i>Oscillatoria sp.</i>	8.19	2.26
						<i>Pinnularia sp.</i>	7.67	1.84
						<i>Pseudanabaena sp.</i>	8.78	2.30
						<i>Spirogyra sp.</i>	8.21	1.11
						<i>Surirella sp.</i>	8.11	1.02
						<i>Trachelomonas sp.</i>	5.80	3.78

Adicionalmente, los taxones que presentaron altos óptimos superiores (8.00) y a su vez baja tolerancia (2.00), indican sensibilidad a la amplitud del rango ambiental y por esta razón podrían ser considerados como biondicadores del gradiente ambiental en el sistema estudiado, finalmente al combinar ambas observaciones estos taxa fueron: *Gomphonema sp.*, *Melosira sp.*, *Surirella sp.*, *Oedogonium sp.* y *Spirogyra sp.* Las especies mencionadas se alternaron entre las tres campañas y en su mayoría se caracterizan por presentar alto grado de dispersión y su distribución es cosmopolita (Figura 49, Figura 50 y Figura 51).

Tres de los cinco taxa registrados hacen parte del grupo de las diatomeas. Este grupo presenta gran flexibilidad ecológica lo que le permite colonizar diversos nichos y alcanzar una amplia diversificación, estando presentes en ambientes con diferentes niveles tróficos. Sus diminutos tamaños permiten que sus representantes tengan rápida fijación en superficies menores, no accesibles a competidores mayores (Rodríguez, L., 2003). Algunas diatomeas como *Gomphonema sp.* tienen estructuras especializadas para fijarse al sustrato como pedúnculos mucilaginosos (Osorio-Ávila & Manjarres-García, 2015), se ha reconocido como un taxón cosmopolita, ubicuo y morfológicamente muy variable, es un género bentónico abundante que se encuentra en una amplia gama de nutrientes y es tolerante a la contaminación (Abarca Nelida, Jahn Regine, Zimmermann Jonas, 2014; Hernandez, E., Jimenez, P & Toro, 2014; Leiva-Tafur et al., 2017). Entre tanto, las células de *Surirella sp.* crecen como células individuales aisladas, comunes en zonas bentónicas, especialmente en los hábitats epipélicos (sedimentos blandos limoarcillosos), en una amplia gama nutrientes. Las células pueden ser relativamente pequeñas o muy grandes, según la especie. Debido al sistema de rafe, las especies de *Surirella sp.* tienen una alta motilidad en comparación con otros géneros de diatomeas. Pueden vivir dentro de granos de arena y sedimentos finos, y pueden moverse a través del sedimento por medio de este sistema de rafe (Spaulding, S., Edlund, 2010).

Por su parte, *Melosira sp.* es común encontrarla en agua dulce (Osorio-Ávila & Manjarres-García, 2015; Potapova, 2009). Se considera que algunas especies de este género tolera la mala calidad del agua, aunque también pueden encontrarse en sistemas oligotróficos. Esta diatomea cilíndrica se encuentra principalmente en hábitats bentónicos, unidas en filamentos por almohadillas de mucílago (Potapova, 2009). Esta característica de formar cadenas las hace susceptibles de la acción de la corrien-

te, donde pequeñas variaciones es suficiente para mantener inestable las poblaciones retrocediéndolas a etapas previas de la sucesión (Osorio-Ávila et al., 2014). Las mayores abundancias de estos géneros, podrían estar relacionados con la presencia de estructuras especializadas que les permiten competir con ventaja, sobre otras especies en condiciones ambientales estresantes, impuestas por la velocidad de la corriente y las descargas de contaminantes (Osorio-Ávila & Manjarres-García, 2015).

El grupo de las *clorofíceas*, presentan las tolerancias más estrechas y son favorecidas por el incremento de fósforo (Montoya-Moreno & Aguirre, 2013), requiriendo buena cantidad de luz para su desarrollo (Arcos-Pulido & Gómez, 2006). De esta manera, la alga verde *Oedogonium sp.* es un género filamentos simple, que se fija al sustrato por una célula diferenciada (Alberghina, 2004). Los filamentos de esta alga pueden permanecer adheridas o flotar libre en la superficie del agua, normalmente se encuentran en los tallos de la vegetación sumergida. Pueden indicar pH bajo, encontrarse en aguas claras y bajas en minerales donde forman parte del perifiton. Algunas especies son comunes en aguas alcalinas y en aguas frías ricas en compuestos húmicos y con elevados contenidos de hierro. En tales condiciones muchas especies se hallan juntas, sin que se manifieste exclusión por competencia (Restrepo, 2000). Finalmente, *Spirogyra sp.* es un alga filamentosa frecuentemente en aguas quietas y comúnmente se encuentra en aguas mesotróficas a oligotróficas (Montoya-Moreno & Aguirre-Ramírez, 2008; Restrepo, 2000). Dichos taxones deberían ser de considerable atención en cuanto a su grado de ocurrencia y abundancia en futuros monitoreos con el propósito de identificar cambios en el gradiente ambiental del sistema Rionegro y afluentes.

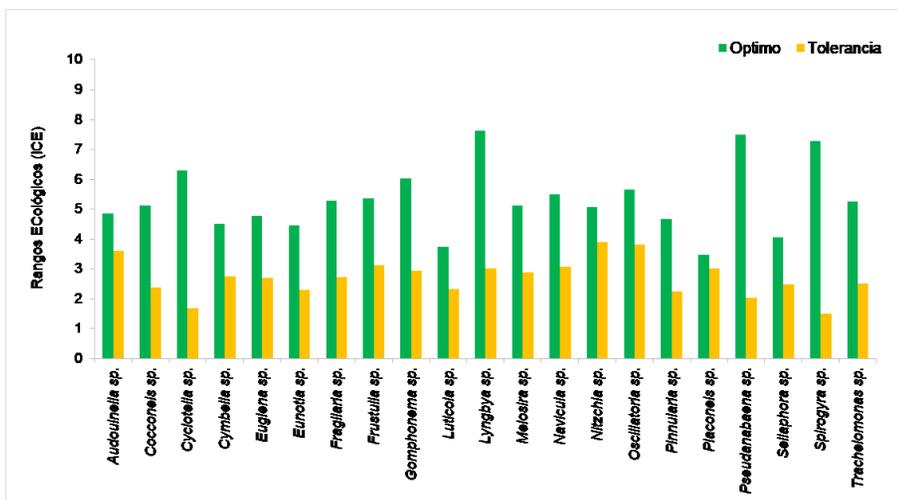


Figura 49. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de las especies de perifiton registradas en la Cuenca Río Negro y afluentes después del análisis de reescalamiento en asociación con los modelos RDA. Campaña 1 (agosto 2020).

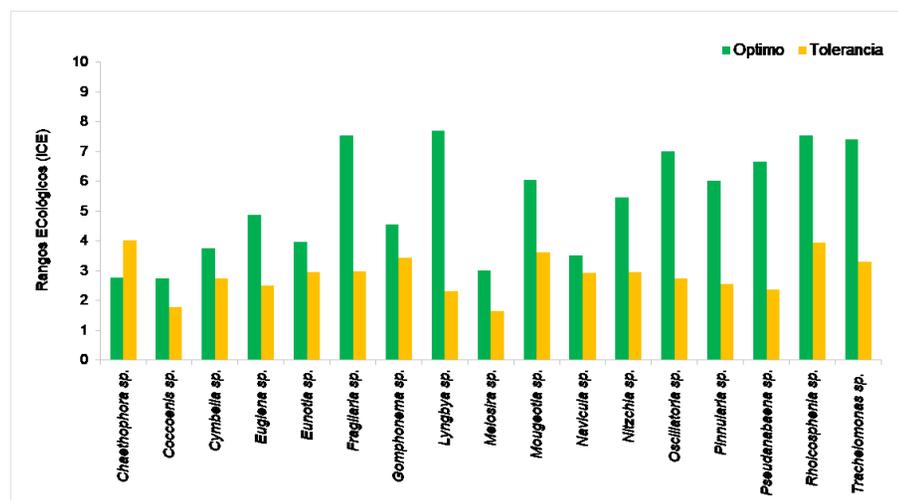


Figura 50. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de las especies de perifiton registradas en en la Cuenca Río Negro y afluentes después del análisis de reescalamiento en asociación con los modelos RDA. Campaña 2 (noviembre 2020).

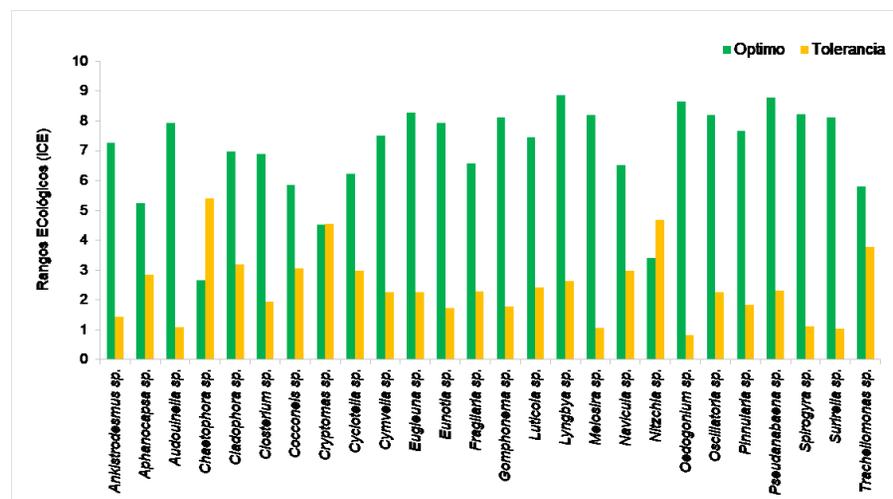


Figura 51. Perfil de los valores óptimos y de tolerancia de las especies de perifiton registradas en la Cuenca Río Negro y afluentes después del análisis de reescalamiento en asociación con los modelos RDA. Campaña 3 (febrero 2021).

En la Figura 49 se presenta la distribución del ICE para la Cuenca Río Negro y afluentes. En torno a los resultados se observó que en general las campañas de monitoreo mostraron valores altos y medios en el índice de calidad ecológica, lo cual podría explicarse en función de los taxones registrados y sus abundancias, ya que los valores del índice entre campañas de muestreo tuvieron los mejores registros en la segunda campaña (9 estaciones), seguido de la tercera (5 estaciones) y posteriormente de la primera campaña (4 estaciones).

La tercera campaña obtuvo el mejor aporte del índice de calidad ecológica en E7 Después de descarga de PTARD (7.86) en el Río Negro. Este muestreo presentó las mejores densidades de los taxa Lyngbya sp. y Pseudanabaena sp. posiblemente al aumento de los nutrientes como: DQO, DBO, nitratos, E. coli y Coliformes totales, y disminución del oxígeno. Cabe mencionar que este tramo se encuentra influenciado por la descarga de la planta de tratamiento de agua residual del municipio Rionegro, la cual puede incrementar dichas concentraciones en el sistema estudiado. Sin embargo, el menor ICE correspondió a la segunda campaña en E26 Chagualo (4.34), este resultado podría estar asociado a un sitio con poca

disponibilidad de sustratos y aumento del caudal en el tramo, ya que la velocidad de la corriente del agua es considerada uno de los factores que genera la pérdida de biomasa por inestabilidad de sustratos y desprendimiento de las biopelículas perifíticas (Pedraza-Garzon & Donato-Rondon, 2011). Adicionalmente, la época de lluvias pudo disminuir la diversidad y aumento de la densidad de *Navicula* sp. en esta campaña, resultado que es compartido con estudios realizados en un arroyo de montaña (Pedraza-Garzon & Donato-Rondon, 2011).

En la Tabla 47 y Figura 52 se presentan los resultados del índice para cada estación y muestreo ejecutado. Los menores valores asociados a una condición crítica en cuanto a la calidad ecológica para el desarrollo de la comunidad de perifiton registrada en el sistema Rionegro y afluentes; en contraste, los valores mayores corresponden a una buena calidad ecológica.

Tabla 47. Valores del índice de calidad ecológica en la Cuenca Río Negro y afluentes por estación y campaña (C1: agosto 2020, C2: noviembre 2020 y C3: febrero 2021).

Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código de muestreo	Índice de calidad ecológica		
			Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3
Río Negro	El Hierbal	E1	5.18	5.74	6.55
	Montenevado	E2	5.80	5.11	6.81
	Charco Manso	E3	5.34	5.02	6.28
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	5.46	4.87	6.53
	Puente Real	E5	5.66	5.61	5.97
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	5.75	5.61	6.15
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	6.19	6.18	7.86
	Puente Autopista	E8	6.15	5.70	7.47
	La Fresera	E9	6.13	6.42	5.57
	Río Abajo	E10	5.66	5.21	6.94
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	5.33	4.98	6.81
	San Sebastián	E12	5.63	4.91	6.48

Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código de muestreo	Índice de calidad ecológica		
			Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3
Quebrada La Pereira	Manzanares	E13	6.47	6.86	5.15
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	5.43	5.81	6.08
	Casa Mia	E15	5.32	5.29	6.98
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	5.45	6.20	6.77
	Flor Silvestre	E17	5.95	5.28	5.85
	Colte punto	E18	6.09	5.38	6.27
	Puente Vía El Tranvía	E19	5.91	6.40	6.97
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	5.58	4.84	6.92
	Puente Molino	E21	5.72	5.13	6.96
	Box Couvert Km.26	E22	6.18	4.49	5.66
	Omya	E23	6.02	5.09	6.47
	Riotex	E24	5.97	6.12	7.61
Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	6.55	5.48	6.97
	El Chagualo	E26	6.08	4.34	6.36
	Puente La Feria	E27	6.34	6.21	7.25
	Alcaravanes	E28	6.45	6.12	5.62
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	6.11	6.04	7.53
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	6.20	5.89	6.51
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	5.50	4.56	6.63

Como se menciona anteriormente, los taxones más representativos de las tres campañas de muestreo correspondieron a *Pseudanabaena sp.* y *Lyngbya sp.* Las especies del género *Lyngbya sp.* (Figura 52) hacen parte del orden *Oscillatoriales* que incluye una organización en filamentos, generalmente se reproducen por fragmentación del tricoma formando hormogonios y carecen de heterocistos y acineto. Algunas pueden presentar una vaina recubriendo los tricomas (Peña, 2019) pudiendo sobrevivir a la desecación del medio. (Adela & Toja, 2003). Se encuentran en ambientes dulceacuícolas en todo tipo de sustratos (rocas, troncos o en cualquier superficie que pueda fijarse). Son cosmopolitas y la gran adaptabilidad de este grupo les permite colonizar nichos donde las condiciones varían de

manera constante (Simon, 2012). Entre tanto *Lyngbya sp.* y *Pseudanabaena sp.* presentan pigmentos accesorios como la ficoeritrina la cual les confiere una ventaja adaptativa ya que puedan vivir en condiciones limitadas por la luz y pueden hallarse en lugares sombreados o en diferentes partes de la biopelícula algal (Galindo-Alcázar et al., 2018).

Los valores del ICE de la primera campaña estuvieron entre un rango de 5.18 y 6.55 (Tabla 47 y Figura 52). Entre las estaciones con mejores valores fueron: La quebrada La Pereira (E13 Manzanares) y la quebrada La Marinilla (E25 La Amistad, E27 Puente La Feria y E28 Alcaravanes). Por su parte, los valores más bajos del índice de calidad ecológica estuvo en la cuenca del Río Negro en las estaciones E1 a E6 (El Hierbal, Montenevado,

Charco Manso, Bocatoma municipio Rionegro, Puente Real, Puente Antes EBAR Rionegro respectivamente y E10 Río Abajo) y en las quebradas La Pereira (E11 Las Acacias, E12 San Sebastián, E14 Bocatoma Inactiva Río Negro-San Antonio y E15 Casa Mia), La Cimarrona (E16 Puente Larga), La Mosca (E20 Romeral y E21 Puente Molino) y El Salado (E31 Compañía Abajo). Durante esta campaña los valores más bajos del ICE correspondieron a estaciones con mejor condición de hábitat y los mayores valores a sitios con descargas de aguas residuales y actividades antrópicas que favorecieron la dominancia y abundancias de las taxa registrados.

En cuanto a la segunda campaña los valores del índice de calidad ecológica oscilaron entre 4.34 y 6.86 (Tabla 47 y Figura 52). Las estaciones con mayores registros fueron del Río Negro (E7 Después de descarga de PTARD y E9 La Fresera) y las quebradas La Pereira (E13 Manzanares), La Cimarrona (E19 Puente Vía el Tranvía), La Mosca (E24 Riotex), La Marinilla (E27 Puente La Feria, E28 Alcaravanes) y Yarumal (E29 Puente Guillermo Gaviria). Por su parte, los valores más bajos fueron registrados en las estaciones de la cuenca del Río Negro (E2 Montenevado, E3 Charco Manso, E4 Bocatoma municipio Rionegro y E10 Río Abajo) y las quebradas La Pereira (E11 Las Acacias y E12 San Sebastián), La Cimarrona (E17 Flor Silvestre), La Mosca (E20 Romeral, E21 Puente Molino, E22 Box Couvert y E23 Omya), La Marinilla (E26 Chagualo) y El Salado (E31 La Compañía).

Entre tanto, la tercera campaña de muestreo obtuvo valores entre 5.15 y 7.86 (Tabla 47 y Figura 52), donde se registró los valores más altos en las estaciones del Río Negro (E7 Después de descarga de PTARD y E8 Puente Autopista) y las quebradas La Mosca (E24 Riotex), La Marinilla (E27 Puente La Feria) y Yarumal (E29 Puente Colegio Guillermo Gaviria). Los valores más bajos fueron registrados en el Río Negro (E5 Puente Real y E6 Puente Antes EBAR Rionegro) y en las quebradas La Marinilla (E28 Alcaravanes), La Pereira (E13 Manzanares), La Cimarrona (E17 Flor Silvestre) y La Mosca (E22 Box Couvert).

Cabe destacar que los valores altos y bajos del ICE en la segunda y tercera campaña presentaron estaciones en condiciones con alto contenido de materia orgánica, ya que están fuertemente influenciadas por descargas de aguas residuales de las PTARD, y actividades antrópicas en los sitios monitoreados, donde los taxa con mayor abundancia fueron: *Lyngbya sp.*, *Pseudanabaena sp.*, *Navicula sp.* y *Nitzschia sp.* El comportamiento del gradiente ambiental en estas campañas de monitoreo registró condiciones ambientales particulares de cada una de las estaciones

y entre campañas de muestreo. Entre tanto los valores medios del ICE registraron mejores condiciones ambientales en las demás estaciones registradas para el establecimiento de las micro-algas perifíticas destacándose lugares con menos concentraciones de nutrientes, conductividades bajas, aguas oxigenadas; excepto E8 Puente Autopista del Río Negro en la segunda campaña, el cual presentó altas concentraciones de sólidos, E15 Casa Mia (quebrada La Pereira) con el aumento de nutrientes (nitratos), debido posiblemente a las lluvias de la época y E19 Puente Vía El Tranvía con el aumento del color y la conductividad eléctrica. Cabe destacar que esta estación fue hallada como uno los puntos con mayor cobertura de plantas acuáticas, donde utilizan los nutrientes para aumentar su cobertura.

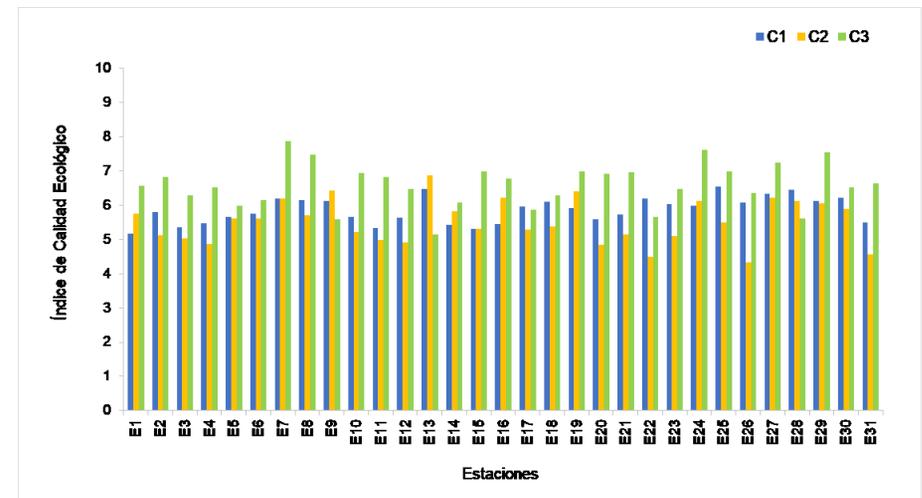


Figura 52 Distribución del índice de calidad ecológica basado en algas perifíticas en las tres campañas de monitoreo en la Cuenca Río Negro y afluentes. C1 (agosto 2020), C2 (noviembre 2020) y C3 (febrero 2021).

Luego de aplicar los valores expuestos anteriormente para el cálculo de la ecuación que define el índice, se obtuvo un análisis de agrupamiento en el cual se presenta la distancia de tres grupos que definen el escalamiento del índice (Tabla 48 y Tabla 49).

Tabla 48. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto 2020), campaña 2 (noviembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código de muestreo	C1	C2	C3
Río Negro	El Hierbal	E1	5.18	5.74	6.55
	Montenevado	E2	5.80	5.11	6.81
	Charco Manso	E3	5.34	5.02	6.28
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	5.46	4.87	6.53
	Puente Real	E5	5.66	5.61	5.97
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	5.75	5.61	6.15
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	6.19	6.18	7.86
	Puente Autopista	E8	6.15	5.70	7.47
	La Fresera	E9	6.13	6.42	5.57
	Río Abajo	E10	5.66	5.21	6.94
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	5.33	4.98	6.81
	San Sebastián	E12	5.63	4.91	6.48
	Manzanares	E13	6.47	6.86	5.15
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	5.43	5.81	6.08
	Casa Mia	E15	5.32	5.29	6.98
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	5.45	6.20	6.77
	Flor Silvestre	E17	5.95	5.28	5.85
	Coltepunto	E18	6.09	5.38	6.27
	Puente Vía El Tranvía	E19	5.91	6.40	6.97
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	5.58	4.84	6.92
	Puente Molino	E21	5.72	5.13	6.96
	Box Coulvert Km.26	E22	6.18	4.49	5.66
	Omya	E23	6.02	5.09	6.47
	Riotex	E24	5.97	6.12	7.61

Quebrada La Marinilla	La Amistad	E25	6.55	5.48	6.97
	El Chagualo	E26	6.08	4.34	6.36
	Puente La Feria	E27	6.34	6.21	7.25
	Alcaravanes	E28	6.45	6.12	5.62
Quebrada Yarumal	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	6.11	6.04	7.53
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	6.20	5.89	6.51
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	5.50	4.56	6.63

Tabla 49. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes, valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto 2020), campaña 2 (noviembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Grupo	Campaña 1		Campaña 2		Campaña 3	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Grupo 1	6.34	6.55	6.04	6.86	7.25	7.86
Grupo 2	6.20	5.91	5.38	5.89	6.27	6.98
Grupo 3	5.80	5.18	4.34	5.29	5.15	6.15

Al obtener el agrupamiento de las diferentes estaciones por medio del índice en las tres campañas se observa que el primer grupo de la primera campaña obtuvo los valores más altos del ICE (color azul) y reunió la estación de la quebrada La Pereira (E13 Manzanares) y la quebrada La Marinilla (E25 La Amistad, E27 Puente La Feria y E28 Alcaravanes). Estos sitios posiblemente se agrupen ya que antes de cada estación están las PTARD de los municipios La Ceja, el Santuario y Marinilla, donde descargan a la fuente hídrica nutrientes en forma de nitratos, fosfatos, nitrógeno amoniacal, DQO, DBO5, sólidos suspendidos y totales. Excepto E25 La Amistad el cual se encuentra en la zona urbana del municipio del Santuario donde está la estación de bombeo de aguas residuales (Figura 68).

El segundo grupo reunió las estaciones con valores medios del ICE (color amarillo) del Río Negro (E7 Después de la descarga de la PTARD, E8

Puente Autopista y E9 La Fresera), quebrada La Mosca (E22 Box Couvert, E23 Omya y E24 Riotex), quebrada La Cimarrona (E17 Flor Silvestre, E18 Coltepunto y E19 Puente Vía El Tranvía), quebrada La Marinilla (E26 El Chagualo), quebrada Chachafruto (E30 Las Delicias) y quebrada La Yarumal (E29 Puente Colegio Guillermo Gaviria). La mayoría de dichas estaciones presentan como impacto local vertimientos sin tratamiento y las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de los municipios Rionegro, Guarne y Carmen de Viboral. Sin embargo, la estación E9 recibe las aguas de las quebradas La Mosca y La Marinilla, haciendo que en la zona el registro de calificación del indicador fisicoquímico de calidad del agua (ICAfa) este entre medio a malo (Figura 53).

El tercer grupo presentó valores bajos (color rojo) del ICE en las estaciones de la cuenca del Río Negro de E1 a E6 (E1 Hierbal, E2 Montenevado, E3 Charco Manso, E4 Bocatoma municipio Rionegro, E5 Puente Real, E6 Puente Antes EBAR Rionegro y E10 Río Abajo) y en las quebradas La Pereira (E11 Las Acacias, E12 San Sebastián, E14 Bocatoma Inactiva Río Negro-San Antonio y E15 Casa Mia), La Cimarrona (E16 Puente Larga), La Mosca (E20 Romeral y E21 Puente Molino) y El Salado (E31 Compañía Abajo). Estos sitios presentan mejor condición del agua, se caracterizan por presentar riberas sin ningún proceso erosivo que afecte su estabilidad del terreno y disponibilidad de sustratos para la colonización del perifiton. Aunque hay actividades antrópicas en algunas estaciones, se observa una mejor calidad física y química del agua en comparación con el grupo 1 y 2, lo cual favorece el desarrollo de la comunidad perifítica en dichas estaciones de muestreo (Figura 53).

En la Tabla 49 y Figura 53 se registra los valores de agrupamiento de la segunda campaña. donde el primer grupo presentó altos valores del ICE (color azul) y reunió las estaciones del Río Negro (E7 Después de descarga de PTARD y E9 La Fresera) y las quebradas La Pereira (E13 Manzanares). La Cimarrona (E19 Puente Vía el Tranvía). La Mosca (E24 Riotex). La Marinilla (E27 Puente La Feria y E28 Alcaravanes) y Yarumal (E29 Puente Guillermo Gaviria). Este grupo se caracteriza por presentar como impacto local descargas de las PTARD de Río Negro. Santuario. Marinilla y vertimientos sin tratamiento e importantes cargas contaminantes del sector productivo textilero.

El segundo grupo estuvo representado por valores medios del ICE en el Río Negro (E1 El Hierbal. E5 Puente Real. E6 Puente Antes EBAR Rionegro y E8 Puente Autopista). Quebrada La Pereira (E14 Bocatoma Inactiva

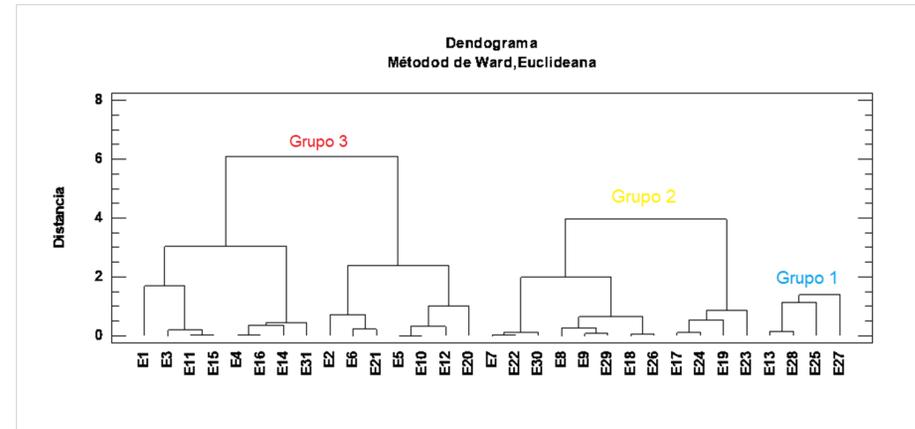


Figura 53. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes. valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 1 (agosto 2020). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Río Negro-San Antonio y E15 Casa Mia). quebrada La Cimarrona (E18 Coltepunto). quebrada La Marinilla (E25 La Amistad) y quebrada Chachafruto (E30 Las Delicias). Por último, el tercer grupo con valores bajos del ICE (color rojo) estuvieron presentes en las estaciones de la cuenca del Río Negro (E2 Montenevado, E3 Charco Manso, E4 Bocatoma municipio Rionegro y E10 Río Abajo) y las quebradas La Pereira (E11 Las Acacias y E12 San Sebastián). La Cimarrona (E17 Flor Silvestre), La Mosca (E20 Romeral. E21 Puente Molino. E22 Box Couvert y E23 Omya). La Marinilla (E26 Chagualo) y El Salado (E31 La Compañía). Seis de las ocho fuentes hídricas resaltan estos dos grupos (valores medios y bajos). Estos sitios se agruparon entre sí ya que presentan abundancias similares y condiciones ambientales aceptables para el desarrollo de los taxa registrados. La época de lluvias pudo diluir algunos compuestos orgánicos y agrupar estaciones con condiciones ecológicas similares. Aunque E17 siguió presentando aumento de la DBO5 y DQO producto de la materia orgánica de la PTARD del Carmen de Viboral (Figura 54).

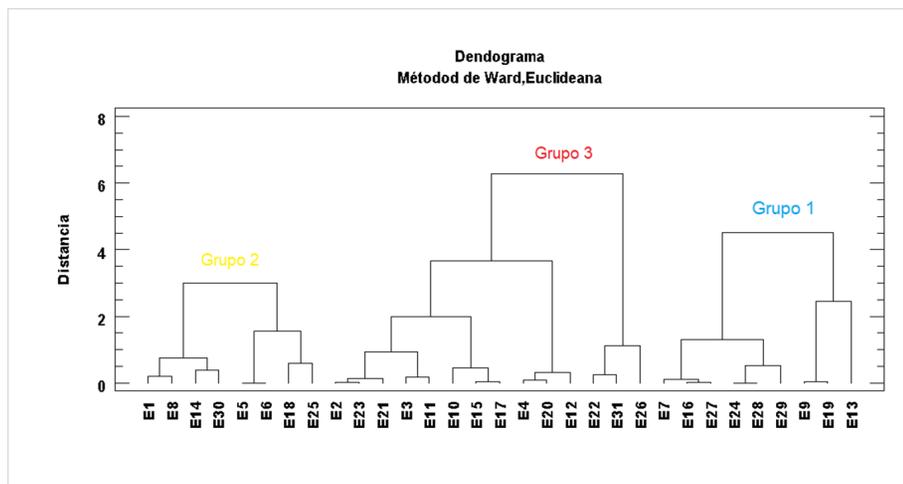


Figura 54. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes. valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 2 (noviembre 2020). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

En la Tabla 49 y Figura 55 se registra los valores de agrupamiento para la tercera campaña. donde los valores altos del ICE (color azul) correspondió a las estaciones del Río Negro (E7 Después de descarga de PTARD y E8 Puente Autopista) y las quebradas La Mosca (E24 Riotex). La Marinilla (E27 Puente La Feria) y Yarumal (E29 Puente Colegio Guillermo Gaviria). Estos sitios se caracterizan por estar en una zona urbana-industrial. donde el uso local está categorizado por pastos, descargas de aguas residuales y trabajos de construcción en las orillas del canal, lo cual puede estar deteriorando calidad física del agua en estos tramos de muestreo. Principalmente en la E7, donde aumentó la DBO5, nitratos, DQO y disminuyó el oxígeno disuelto del agua. Es importante realizar un seguimiento en esta estación para mejorar su calidad física y química del agua.

El segundo grupo presentó valores medios del ICE (color amarillo), de allí la mayoría de las estaciones fueron del Río Negro (E1 El Hierbal. E2 Montenevado. E3 Charco Manso. E4 Bocatoma municipio Rionegro y E10 Río Abajo). quebrada La Pereira (E11 Las Acacias. E12 San Sebastián, E14 Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio y E15 Casa Mia). quebrada La mosca (E20 Romeral, E21 Puente Molino y E23 Omya). quebrada La Mari-

nilla (E26 El Chagualo), quebrada El Salado (E31 La Compañía), quebrada Cimarrona (E16 Puente Larga y E18 Coltepunto), quebrada La Marinilla (E25 La Amistad) y quebrada Chachafruto (E30 Las Delicias). Todas las estaciones presentaron condiciones ecológicas favorables con buena cobertura vegetal. sustratos disponibles para la colonización del perifiton. la ausencia de lluvias de la época permitió mejor estabilidad en la mayoría de sus sustratos. lo que permitió mejor diversidad algal. esto lo corrobora que la mayoría de las estaciones de la tercera campaña se agrupen entre sí (Figura 55).

Por su parte. el tercer grupo presentó valores bajos del ICE (color rojo). Estos hacen parte del Río Negro (E5 Puente Real y E6 Puente Antes EBAR Rionegro) y en las quebradas La Marinilla (E28 Alcaravanes). La Pereira (E13 Manzanares). La Cimarrona (E17 Flor Silvestre) y La Mosca (E22 Box Couvert). Algunos de estos sitios se encuentran influenciadas por las PTARD del Carmen de Viboral. La Ceja. Santuario y Marinilla. Lo que aumenta de manera considerable los nutrientes por dichas descargas (Figura 55).

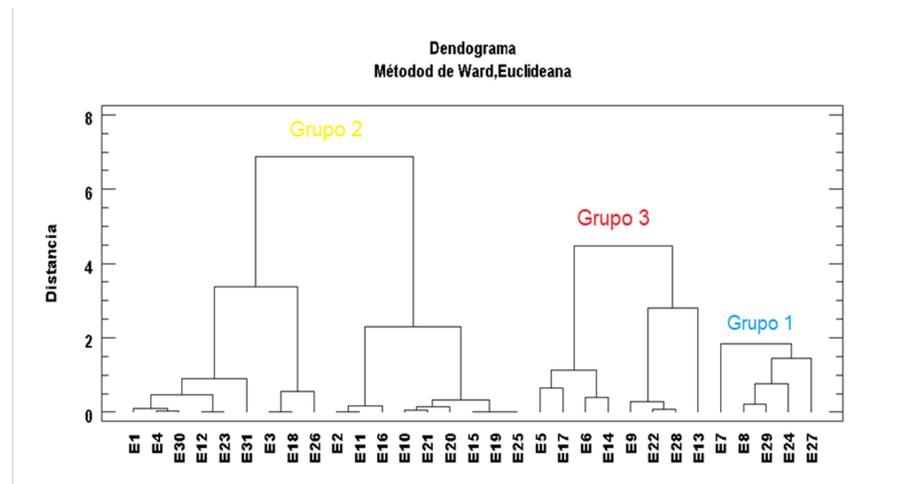


Figura 55. Análisis de agrupamiento del índice de calidad ecológico en la Cuenca Río Negro y afluentes. valores máximos y mínimos del índice en cada uno de los tres grupos por campaña. Campaña 3 (febrero 2021). Los tres grupos corresponden a la clasificación de los valores altos (color azul), intermedios (color amarillo) y bajos (color rojo) del índice y las estaciones que están involucradas en cada grupo.

Finalmente, se analizó la relación entre el índice de calidad ecológica con las variables fisicoquímicas que fueron admitidas en los modelos de redundancia canónica en cada campaña, las cuales se presentan en la Tabla 50. Al revisar el listado de las variables que fueron admitidas en los modelos de RDA se observaron relaciones significativas y/o por encima de 0.05 con las variables. Las variables que se relacionaron directamente en la primera campaña fue la temperatura, la conductividad eléctrica,

DBO5, sólidos totales, E. coli, coliformes totales y manganeso ($p < 0.05$). La segunda campaña estuvo relacionada directamente con la conductividad eléctrica, DBO5, fósforo total, fosfatos, coliformes totales y color ($p < 0.05$) e inversamente con el oxígeno disuelto ($r -0.51$ $p < 0.05$) y porcentaje de saturación de oxígeno ($r -0.43$ $p < 0.05$). Sin embargo, la tercera campaña no tuvo relación con ninguna variable ($p > 0.05$).

Tabla 50. Coeficientes de correlación de Spearman (r) entre el índice de calidad ecológica y las variables ambientales incluidas en los modelos de análisis de redundancias canónicas (RDA) de las tres campañas de monitoreo en el sistema Rionegro y afluentes.

Variable ambiental	Campaña 1		Variable ambiental	Campaña 2		Variable ambiental	Campaña 3	
	r	Valor p		r	Valor p		r	Valor p
Altura (m.s.n.m)	-0.04	0.84	Altura (m.s.n.m)	-0.29	0.11	Altura (m.s.n.m)	-0.07	0.70
Caudal (L/s)	0.01	0.98	Caudal	0.17	0.37	Caudal (L/s)	-0.03	0.88
pH	0.25	0.18	pH	-0.18	0.31	pH	-0.29	0.12
Temperatura (°C) *	0.42	0.02	Temperatura (°C)	0.32	0.08	Temperatura (°C)	-0.14	0.46
Conductividad eléctrica*	0.64	0.00	Conductividad eléctrica*	0.35	0.05	Conductividad eléctrica	-0.13	0.48
Oxígeno disuelto (mg/L)	-0.21	0.25	Oxígeno disuelto (mg/L) *	-0.51	0.01	Oxígeno disuelto (mg/L)	0.12	0.50
Saturación de oxígeno (%)	-0.13	0.48	Saturación de oxígeno (%) *	-0.43	0.02	Saturación de oxígeno (%)	0.11	0.53
DBO5 (mg/L) *	0.40	0.03	DBO5 (mg/L) *	0.39	0.03	DBO5 (mg/L)	-0.21	0.25
Demanda química de oxígeno (mg/L)	-0.03	0.88	Demanda química de oxígeno (mg/L)	0.33	0.07	Demanda química de oxígeno (mg/L)	-0.04	0.83
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0.29	0.12	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0.18	0.31	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	-0.23	0.20
Fósforo total (mg/L)	0.07	0.70	Fósforo total (mg/L) *	0.36	0.05	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0.11	0.55
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0.14	0.43	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0.32	0.08	Sólidos totales (mg/L)	0.03	0.86
Sólidos totales (mg/L)	0.32	0.08	Sólidos totales (mg/L)	0.29	0.11	Nitratos (mg/L)	-0.13	0.47
E Coli (UFC)*	0.47	0.01	Nitratos (mg/L)	0.22	0.22	Turbiedad (UNT)	0.16	0.38
Coliformes Totales (UFC)*	0.36	0.05	Turbiedad (UNT) *	0.34	0.06	Alcalinidad total (mg/L)	-0.08	0.67
Nitratos (mg/L)	-0.21	0.24	Alcalinidad total (mg/L)	0.15	0.40	Nitritos (mg/L)	-0.05	0.77
Turbiedad (UNT)	0.06	0.75	Nitritos (mg/L)	0.15	0.42	Ortofosfatos solubles (mg/L)	-0.09	0.61
Alcalinidad total (mg/L)	-0.10	0.57	Ortofosfatos solubles (mg/L) *	0.47	0.01	Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	-0.03	0.88
Nitritos (mg/L)	0.34	0.06	E. Coli (NMP)	0.27	0.14	E. Coli (NMP)	-0.06	0.73
Ortofosfatos solubles (mg/L)	0.15	0.41	Coliformes totales (NMP)*	0.36	0.05	Coliformes totales (NMP)	-0.11	0.56

Variable ambiental	Campaña 1		Variable ambiental	Campaña 2		Variable ambiental	Campaña 3	
	r	Valor p		r	Valor p		r	Valor p
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	0.08	0.65	Carbono orgánico total (mg/L)	0.34	0.06	Carbono orgánico total (mg/L)	-0.04	0.84
Carbono orgánico total (mg/L)	-0.22	0.22	Manganeso (mg/L)	0.26	0.16	Manganeso (mg/L)	0.26	0.15
Manganeso (mg/L) *	0.38	0.04	Color real ($\lambda=525$) *	0.49	0.01	Color real ($\lambda=436$)	-0.26	0.16
Color real ($\lambda=525$)	-0.07	0.70	Color ($\lambda=620$) *	0.44	0.02	Color real ($\lambda=525$)	-0.15	0.40
Color real ($\lambda=620$)	-0.07	0.68	Betex ($\mu\text{g/L}$)	0.32	0.08	Color real ($\lambda=620$)	-0.11	0.53
Betex ($\mu\text{g/L}$)	0.03	0.87						

* Variables con el coeficiente de correlación de Spearman (r) <0.05.

La DBO5 es una medida de la concentración de oxígeno usada por microorganismos para estabilizar y degradar la materia orgánica en condiciones aeróbicas (Raffo Lecca, Eduardo; Ruiz Lizama, 2014; Roldán G., Restrepo, 2008). A mayor concentración de la DBO5, se requiere más oxígeno para oxidar la materia orgánica por las bacterias, lo que indica que el oxígeno disminuye y por ende la saturación también, esto explica por qué el oxígeno disuelto (r -0.51 p <0.05) y porcentaje de saturación de oxígeno se encuentran relacionadas inversamente. Como se evidenció en las estaciones de muestreo con gran influencia de vertimientos domésticos, aumentando la demanda de bacterias como E. coli y Coliformes totales. El oxígeno es importante ya que influye en la solubilidad de otras sustancias como el manganeso, fósforo y regulación de solutos como el amonio y el nitrato (Abuhatab, 2011).

Por su parte, el color es producido por sustancias como sólidos disueltos originados en la descomposición natural de la materia orgánica principalmente ácidos húmicos, vegetales, manganeso, hierro e industrias (desechos domésticos y producción industrial) (Roldán G., Restrepo, 2008). Esto conlleva que esta variable se haya relacionado con un valor medio de ICE (6.39) en la campaña 2 en E19 Puente Vía El Tranvía de la quebrada La Cimarrona, ya que se ha observado cambios de coloración del agua debido a descargas del sector industrial de la zona. La temperatura es otro fac-

tor determinante en la configuración del ficoperifiton, ya que es regulador del metabolismo de todos los organismos. El aumento de la temperatura estimula las tasas de producción primaria y de respiración en productores y heterótrofos (Abuhatab, 2011). El aumento de los sólidos totales impide el paso de la luz en la fotosíntesis, favoreciendo así ciertos grupos indicadores del deterioro ambiental. Por otro lado, la conductividad alta se encuentra presente en sistemas mesotróficos y eutróficos lo que conlleva aumento de la dominancia y disminución de la diversidad del perifiton (Roldán G., Restrepo, 2008) como se evidenció en la segunda campaña.

La forma más común de las algas de asimilar el fósforo es en forma de fosfatos, donde la principal fuente es arrastrada por las lluvias, erosión naturaleza geoquímica del terreno y el grado de contaminación de origen doméstico, agrícola e industrial de la región. La absorción del fosfato por las algas está ligada a la reacción de fosforilación. Es decir, producción de ATP en el cloroplasto por medio de acciones que es activada por la luz, para utilizarlo en el crecimiento (Roldán G., Restrepo, 2008), se observa grandes aumentos de esta variable en la E13 Manzanares con un valor de ICE medio (6.85), resultado de la descarga de la PTARD de la Ceja. Es importante hacer un seguimiento de esta comunidad, ya que predominó el alga *Lyngbya* sp. indicadora del deterioro ambiental en dicha estación.

Índice promedio ponderado hidrobiológico

A continuación, se presentan los resultados del índice promedio ponderado hidrobiológico (IPPH) para las tres campañas de muestreo realizadas. En general se observa que las estaciones muestreadas durante las tres campañas presentaron entre aguas moderadamente contaminadas y aguas muy limpias. Excepto para las estaciones E19 Puente Vía El Tranvía y E26 El Chagualo en la campaña 2 (agosto 2020), las cuales presentaron una condición de aguas muy contaminadas. De igual forma, las estaciones E9 La Fresera, E13 Manzanares y E19 Puente Vía El Tranvía presentaron condiciones de aguas muy contaminadas en la campaña 3 (febrero 2021). Tabla 51 y Figura 56.

Según el índice promedio ponderado hidrobiológico (IPPH) que incluye las cuatro comunidades hidrobiológicas (macroinvertebrados acuáticos, ficoperifiton, peces y macrófitas) entre las estaciones que obtuvieron mejor calidad del agua fueron: E13 Manzanares (7.40) y E18 Coltepunkt (7.20) en la primera campaña (agosto 2020). Aunque estos sitios están fuertemente influenciados por descargas de aguas residuales y actividades antrópicas. Estos resultados concuerdan con la época (agosto de 2020), ya que fue la transición a lluvias, lo que pudo haber diluido los nutrientes (DBO5, DQO, ortofosfatos solubles, fósforo total, nitratos etc.), como se evidencia en los resultados fisicoquímicos de esta campaña. Por lo cual, permite que varios taxa no presenten alta dominancia en dichos tramos en macroinvertebrados y ficoperifiton. Sin embargo, las comunidades de peces y macrófitas no responden a dicha

tendencia, probablemente porque el ICE responde de manera inversa a la calidad del agua.

Los valores de mejor calidad del agua en el IPPH para la segunda campaña (noviembre 2020) fueron: las estaciones E1 El Hierbal (7.14) y E30 Las Delicias (7.29), y para la tercera campaña (febrero 2021) fueron las estaciones: E2 Montenevado (7.84) y E3 Charco Manso (7.64). En estos dos periodos de monitoreo las comunidades hidrobiológicas que obtuvieron las mejores coberturas (%) y densidades fueron en macrófitas y ficoperifiton respectivamente. Sin embargo, las comunidades de peces y macroinvertebrados se deben analizar individualmente, ya que presentan un comportamiento distinto dependiendo de las características de hábitat, calidad del agua, disponibilidad de microhábitat, esfuerzo de muestreo y artes de pesca.

El índice promedio ponderado hidrobiológico, como bien lo dice es un promedio de los resultados del índice de calidad ecológica de cada grupo hidrobiológico (macroinvertebrados acuáticos, ficoperifiton, peces y macrófitas), a su vez se tiene en cuenta el BMWP/Col y el índice de calidad del agua (ICAfa). Sin embargo, este índice no se podría equiparar con el ICE, ya que los resultados de este modelo presentan respuestas particulares de las condiciones ecológicas de cada grupo hidrobiológico. Por lo cual el IPPH presenta resultados no comparables en cuanto a su calidad, como se evidencia de la campaña 1 en las estaciones E18 y E13 lugares evidentemente que cambian sus condiciones de calidad del agua de acuerdo con la época. Los históricos (agosto y noviembre de 2020 y febrero de 2021) de estos tramos evaluados han presentado condiciones de calidad del agua bueno y malo según ICAfa.

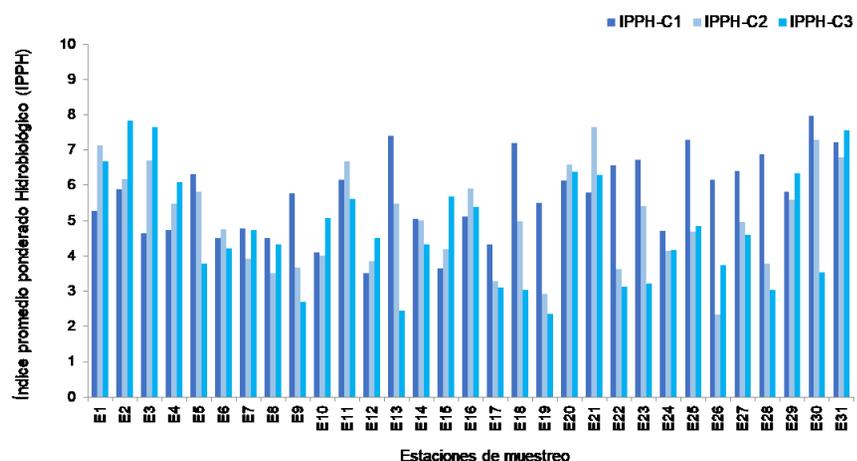
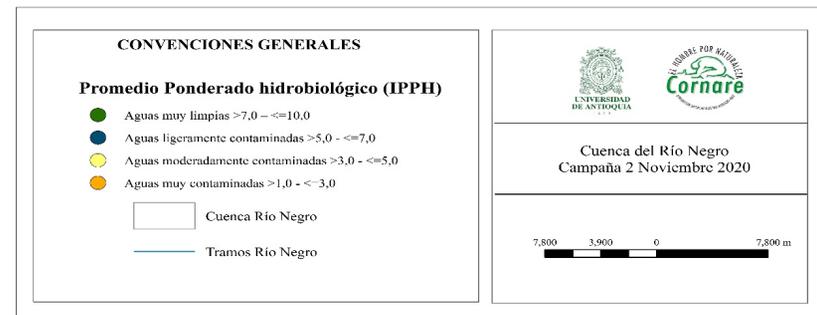
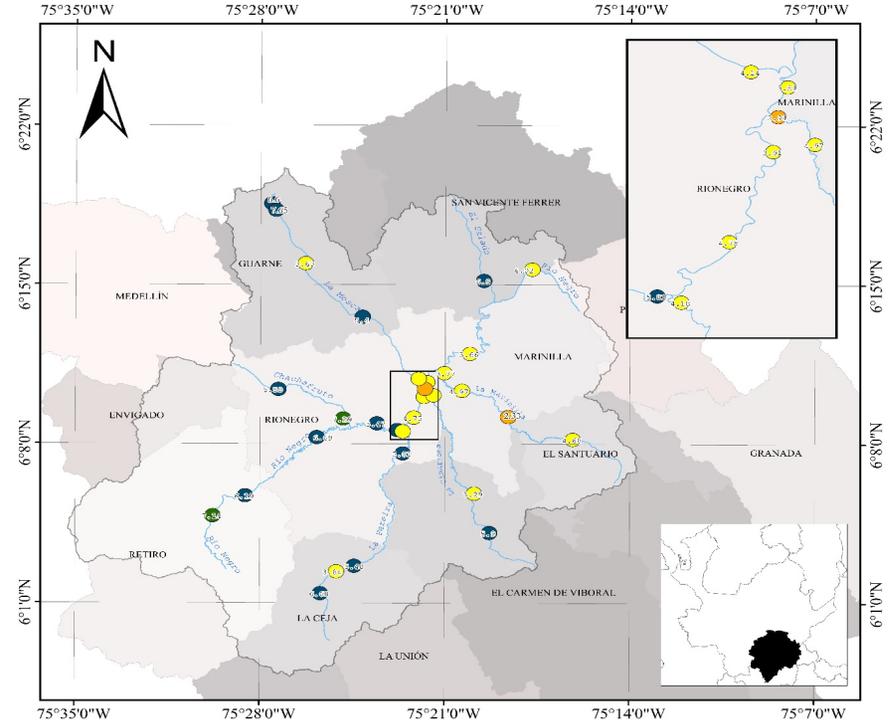
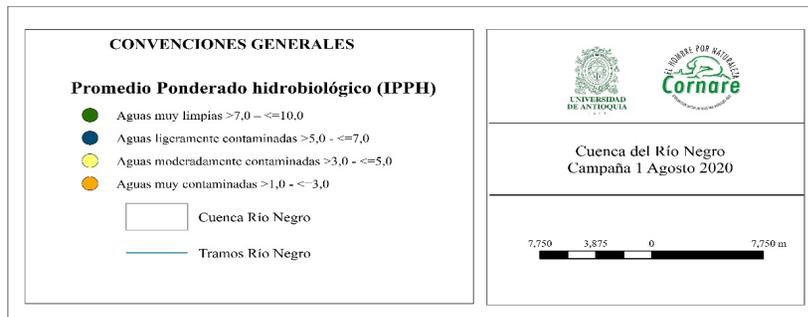
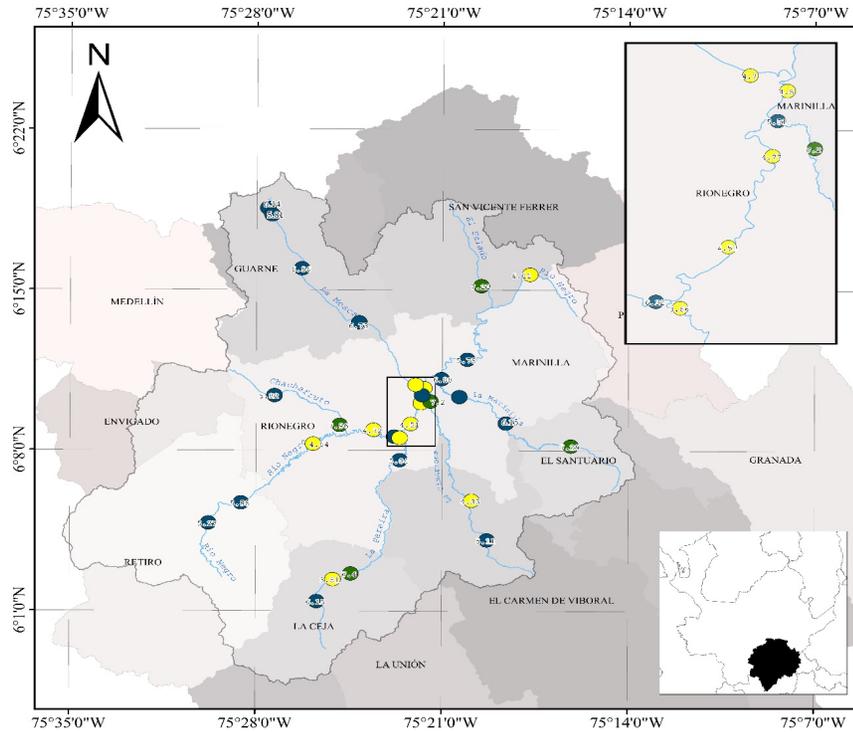


Figura 56. Índice promedio ponderado hidrobiológico en las tres campañas de muestreo, Campaña 1 (agosto 2020), campaña 2 (noviembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021) en el Río Negro y afluentes.

Tabla 51. Índice promedio ponderado hidrobiológico en las tres campañas de muestreo. Campaña 1 (agosto 2020), campaña 2 (noviembre 2020) y campaña 3 (febrero 2021) en el Río Negro y afluentes.

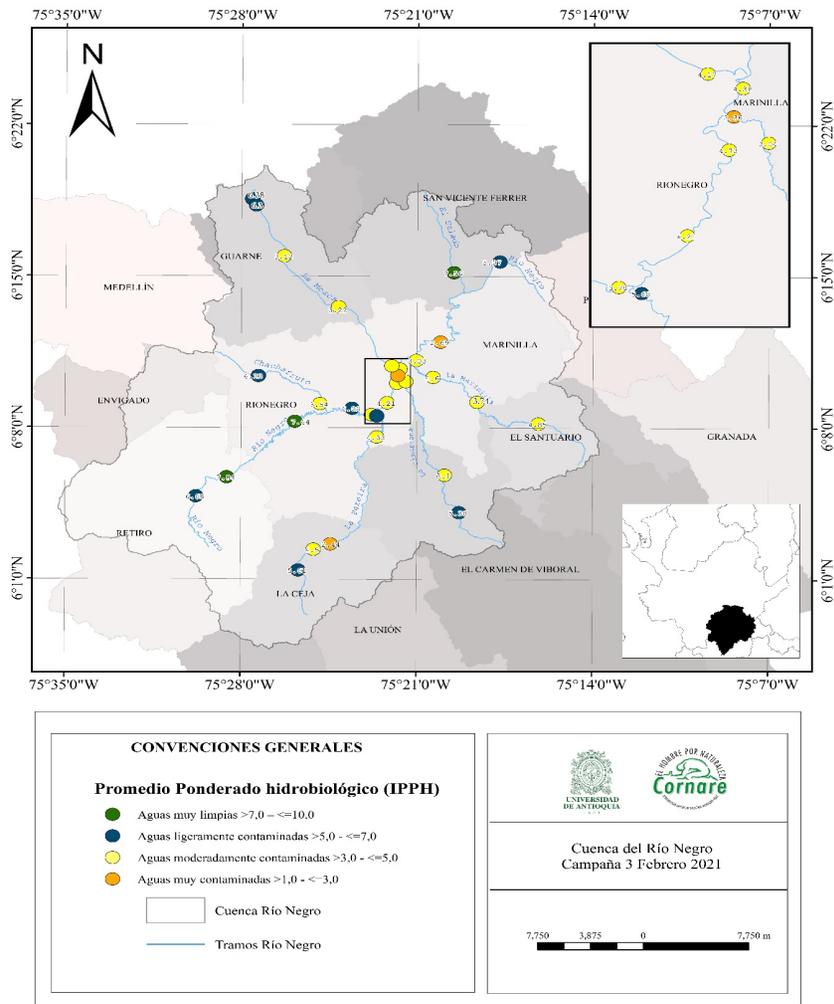
Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3
Río Negro	El Hierbal	E1	5.27	7.14	6.68
	Montenevado	E2	5.88	6.19	7.84
	Charco Manso	E3	4.64	6.69	7.64
	Bocatoma Municipio de Rionegro	E4	4.72	5.47	6.09
	Puente Real	E5	6.32	5.81	3.78
	Puente Antes EBAR Rionegro	E6	4.51	4.75	4.21
	Después de descarga PTARD Rionegro	E7	4.77	3.91	4.73
	Puente Autopista	E8	4.50	3.51	4.31
	La Fresera	E9	5.78	3.66	2.69
	Río Abajo	E10	4.11	4.02	5.07
Quebrada La Pereira	Las Acacias	E11	6.15	6.68	5.61
	San Sebastián	E12	3.51	3.84	4.50
	Manzanares	E13	7.40	5.48	2.44
	Bocatoma Inactiva Rionegro-San Antonio	E14	5.04	5.01	4.33
	Casa Mia	E15	3.66	4.18	5.68

Fuente hídrica	Estación de muestreo	Código estación	C1	C2	C3
Quebrada La Cimarrona	Puente Larga	E16	5.11	5.90	5.38
	Flor Silvestre	E17	4.33	3.29	3.10
	Coltepunto	E18	7.20	4.97	3.04
	Puente Vía El Tranvía	E19	5.51	2.91	2.36
Quebrada La Mosca	Romeral	E20	6.14	6.60	6.38
	Puente Molino	E21	5.81	7.65	6.30
	Box Couvert Km.26	E22	6.56	3.63	3.12
	Omya	E23	6.73	5.40	3.22
Quebrada La Marinilla	Riotex	E24	4.70	4.14	4.17
	La Amistad	E25	7.29	4.68	4.85
	El Chagualo	E26	6.15	2.33	3.74
	Puente La Feria	E27	6.41	4.97	4.60
Quebrada Yarumal	Alcaravanes	E28	6.88	3.77	3.03
	Puente Colegio Guillermo Gaviria	E29	5.82	5.59	6.33
Quebrada Chachafruto	Las Delicias	E30	7.96	7.29	3.54
Quebrada El Salado	Compañía Abajo	E31	7.21	6.80	7.56



Mapa 7. Representación gráfica de los resultados del IIPH para la comunidad hidrobiológica en la primera campaña, época de transición (agosto de 2020) en el Río Negro y afluentes.

Mapa 8. Representación gráfica de los resultados del IIPH para la comunidad hidrobiológica en la segunda campaña, época de lluvias (noviembre de 2020) en el Río Negro y afluentes.



Mapa 9. Representación gráfica de los resultados del IPPH para la comunidad hidrobiológica en la tercera campaña, época seca (febrero de 2021) en el Río Negro y afluentes.

Conclusiones

Índice de calidad ecológica (ICE)

o Según el análisis del ICE de los grupos hidrobiológicos, en general las estaciones que requieren mayor atención en cuanto a la contaminación del recurso hídrico son las siguientes: Río Negro (E7 Después de descarga de PTARD, E8 Puente Autopista, E9 La Fresera y E10 Río Abajo), la quebrada La Marinilla (E26 El Chagualo, E27 Puente La Feria y E28 Alcaravanes) y quebrada La Pereria (E12 San Sebastián, E13 Manzanares y E15 Casa Mia). Sin embargo, se recomienda un seguimiento al Río Negro y afluentes para la toma de decisiones, teniendo en cuenta el monitoreo continuo en épocas contrastantes, en pro de vigilar las especies encontradas, principalmente aquellas que son bioindicadoras y/o endémicas aportando información para que autoridades ambientales cuiden dichos tramos.

o Las estaciones que presentaron mejores condiciones según el ICE fueron: Río Negro (E1 El Hierbal y E2 Montenevado), quebrada La Mosca (E20 Romeral y E21 Puente Molino), quebrada La Marinilla (E25 La Amistad y E26 El Chagualo) y quebrada El Salado (E31 Compañía Abajo). Es importante continuar preservando estas condiciones ambientales para el desarrollo de las comunidades hidrobiológicas, y monitorear el cuidado y conservación de las mismas.

Índice promedio ponderado hidrobiológico (IPPH)

o Para el análisis del IPPH no es recomendable incluir el ICE de vegetación acuática, ya que presenta un comportamiento inverso, donde el ICE es alto la calidad del agua es baja. Así mismo, la comunidad de peces requiere más estudios para evidenciar la respuesta del ICE a las variables ambientales, pues hay que tener en cuenta el desplazamiento de los peces a otros sitios y actividades antrópicas en las zonas de interés. Por lo tanto, no es comparable con las otras comunidades en este índice.

En el caso de los macroinvertebrados acuáticos el índice obtuvo valores altos con buena calidad del agua y BMWP/Col, por lo cual el IPPH sería una buena herramienta en el Río Negro y afluentes. Finalmente, los valores del ICE de las algas perifíticas tienen una respuesta inversa a la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos en la primera campaña y está dada de acuerdo a la época de muestreo, por esta razón no es recomendable utilizarlo en el IPPH.

o No se recomienda el IPPH integrando todos los resultados del índice de calidad ecológica de las comunidades hidrobiológicas. Es pertinente evaluar este índice de acuerdo con sus particularidades y no generalizarlo a un solo valor, ya que el ICE presenta variaciones en cada grupo y época de muestreo, lo que podría confundir o enmascarar resultados importantes en la toma de decisiones en el manejo ambiental del recurso hídrico.

FICOPERIFITON

o Con respecto a cada fuente hídrica la quebrada La Pereira registró la mejor densidad con un aporte de 292.929 ind/cm² y el Río Negro con 245.450 ind/cm². En las 31 estaciones de muestreo en el Río Negro y afluentes se registraron 101 taxones destacándose principalmente los taxones pertenecientes a la división *Bacillariophyta* (clase *Bacillariophyceae*) y *Cyanobacteria* (clase *Cyanophyceae*). Los taxones con mejores densidades en todas las estaciones fueron: *Lyngbya sp.*, *Navicula sp.*, *Pseudanabaena sp.*, *Nitzschia sp.*, *Oscillatoria sp.* y *Gomphonema sp.*

o La alta densidad del ensamble ficoperifítico se encuentra relacionado con la velocidad de la corriente, la intensidad y calidad de la luz incidente, la temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, la concentración de nutrientes, el estado trófico, herbivoría, abundancia de macrófitas, la calidad del sustrato, la velocidad del agua y a condiciones de calidad del agua, como las variables asociadas a la acumulación de perifiton en los diferentes sustratos. En general, estos organismos presentes en esta evaluación se caracterizan por presentar tamaños relativamente pequeños y características morfológicas similares.

o Entre periodos hidrológicos monitoreados se evidencia la mejor densidad del perifiton en febrero de 2021 con un registro de 151.957 ind/cm² y el menor en agosto de 2020 con 110.215 ind/cm². La disminución de la densidad registrada en agosto y noviembre de 2020 podría explicarse a través de las variables ambientales en la estructuración de las micro-algas en los tramos estudiados.

o Para la evaluación de la comunidad entre estaciones de muestreo se evidencia que la estación Manzanares (E13) hizo el mejor aporte con 212.740 ind/cm² y La Fresera (E9) con una densidad de 77.016 ind/cm². Estos tramos se encuentran ubicados después de descargas de aguas residuales. Por lo tanto, da clara evidencia que las micro-algas aprovechan los nutrientes para su reproducción y crecimiento.

Índice de calidad ecológica (ICE)

o Los taxones que presentaron altos óptimos y a su vez baja tolerancia, indican sensibilidad a la amplitud del rango ambiental y por esta razón podrían ser considerados como bioindicadores del gradiente ambiental en el sistema estudiado, estos taxa fueron: *Gomphonema sp.*, *Melosira sp.*, *Surirella sp.*, *Oedogonium sp.* y *Spirogyra sp.* Tres de los cinco taxa registrados hacen parte del grupo de las diatomeas. Este grupo presenta gran flexibilidad ecológica lo que le permite colonizar diversos nichos y alcanzar una amplia diversificación, estando presentes en ambientes con diferentes niveles tróficos.

o Las tres campañas de monitoreo mostraron valores altos y medios del ICE, lo cual podría explicarse en función de los taxones registrados y sus abundancias, ya que los valores del índice entre campañas de muestreo tuvieron los mejores registros en la segunda campaña y bajo en la primera campaña.

o La estación que presentó el mejor aporte del ICE fue en E7 Después de descarga de PTARD en la cuenca del Río Negro. Este muestreo presentó las mejores densidades de los taxa registrados de la división *Cyanobacteria*, posiblemente al aumento de los nutrientes. Cabe mencionar que este tramo se encuentra influenciado por la descarga de la planta de tratamiento de agua residual de Rionegro, la cual puede incrementar dichas concentraciones en el sistema estudiado.

o Los valores bajos del ICE en la primera campaña tuvieron relación con estaciones de mejor condición de hábitat y los valores más altos a sitios con descargas de aguas residuales y actividades antrópicas que favorecieron la dominancia y abundancias de los taxa registrados. Sin embargo, el comportamiento del gradiente ambiental de la campaña 2 (época de lluvias) y campaña 3 (época seca) fue distinto, donde registraron condiciones ambientales particulares en cada una de las estaciones. Lo que sugiere que los valores medios del ICE favorecieron buenas condiciones ambientales en las demás estaciones registradas para el establecimiento de las micro-algas perifíticas destacándose lugares con menos concentraciones de nutrientes, conductividades bajas, aguas oxigenadas etc. A excepción de algunas estaciones, como E8 Puente Autopista (Río Negro), E15 Casa Mia (quebrada La Pereira) y E19 Puente Vía El Tranvía (quebrada La Cimarrona). Finalmente, podría indicarse que el índice varía entre campañas y estaciones, por lo cual tiene una respuesta particular para este

grupo hidrobiológico.

- o Las variables que tuvieron relación directa e inversamente con en el ACC fueron los nutrientes (DBO5 y fósforo total), temperatura, sólidos totales, conductividad eléctrica, E. coli, coliformes totales, color, manganeso, oxígeno y saturación de oxígeno disuelto.

- o Se recomienda realizar futuras investigaciones con el fin de obtener una resolución taxonómica hasta especie, especialmente para la división *Bacillariophyta* (diatomeas), pues solo fue posible llegar hasta género lo que podría sesgar el análisis ecológico de las especies presentes en cada una de las estaciones. Este procedimiento se lleva a cabo a partir de la oxidación de la materia orgánica a través de un proceso químico, lo que conlleva equipos y personal especializado en dicho grupo.



PECES

o Las fuentes hídricas que mayor aporte en cuanto a abundancia realizaron fueron quebrada La Pereira (264) y La Marinilla con 263 individuos, estas abundancias correspondieron principalmente a la sardina *Hemibrycon antioquiae*. Sin embargo, a nivel de especie, se puede decir que, esta sardina estuvo presente en todas las fuentes hídricas donde hubo reporte de peces, a excepción de Chachafruto y que fue esta, la que mayor aporte realizó en las tres campañas de muestreo con 617 de 993 individuos, sin embargo, en la fuente El Salado, solo se capturaron cinco representantes.

o Del guppy *Poecilia reticulata* se puede decir que, estuvo presente en seis fuentes hídricas, y que fue el único representante de la quebrada Chachafruto en las tres campañas de muestreo. Es el segundo en orden de importancia a nivel de abundancia después de *Hemibrycon antioquiae* con 217 de 993 individuos, alcanzando un máximo de 102 representantes en la estación Coltepunkt (E18) de la quebrada La Cimarrona.

o La fuente hídrica que mejor representó la riqueza de especies fue el Rionegro, con ocho de 10 especies tales como *Hemibrycon antioquiae*, *Trichomycterus chapmani*, *Cyprinus carpio*, *Micropterus salmoides*, *Poecilia reticulata*, *Kronoheros umbrifer*, *Isorineloricaria tenuicauda* y *Brycon amazonicus*, las dos últimas con tan solo un individuo reportado una única vez. Por su parte la Mojarra negra *Kronoheros umbrifer*, a pesar de que salió en esta fuente hídrica solo una vez, ella también se evidenció en la quebrada La Pereira.

o El reporte de la sabaleta *Brycon henni*, fue importante, ocupando el tercer puesto para la abundancia del ensamble, además, estuvo presente en dos fuentes tales como La Marinilla (45 individuos) en la Amistad (E25) y El Chagualo (E26) y El Salado (23 individuos) en la estación Compañía Abajo (E31) durante las tres campañas muestreadas.

o De la briola *Trycomycterus chapmani*, se tiene que aportó 41 individuos en cinco fuentes hídricas y siete estaciones de muestreo, con el mejor aporte en la quebrada La Pereira (12 individuos), siendo la cuarta especie importante para la abundancia del ensamble después de la sabaleta *Brycon henni*

o La mula *Geophagus steindachneri*, solo se reportó en la fuente La Marinilla estación Alcaravanes (E28) con 14 individuos, durante tres campañas de muestreo.

o En el muestreo se evidenciaron dos especies que no son nativas para Colombia tales como la Trucha bass *Micropterus salmoides* reportada en la quebrada La Pereira y el Río Negro y la Carpa *Cyprinus carpio* reportada solo en el Río Negro. Finalmente se reporta el yamú *Brycon amazonicus* que, aunque no es una especie endémica de la cuenca henna Magdalena-Cauca es una especie nativa para Colombia, con amplia distribución en varios países. Estas tres especies son ampliamente usadas como explotación sostenible con ventajas para la piscicultura de Colombia.

o De manera general, los resultados reflejan que el mayor número de individuos reportadas en el área de estudio corresponden a las especies *Hemibrycon antioquiae* y guppy *Poecilia reticulata*. Su morfología y fisiología especializada les permite vivir en ambientes con fluctuaciones extremas de alimento, oxígeno y salinidad entre otras (Moyle, 1988).

o Es importante saber que en las capturas se registraron especies de peces que se encuentran en la "Guía de las especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia" la sabaleta *Brycon henni* como migrador local (ML) y el yamú *Brycon amazonicus* como Migrador mediano (MM).

o La temperatura del agua y la disponibilidad de oxígeno son factores determinantes en la distribución de la ictiofauna acuática, que pueden verse reflejadas en los reportes de cada sitio de muestreo. Sin embargo, no se puede inferir como afectan el establecimiento de los peces, dado que estos resultados corresponden a un momento de muestreo, por lo que se sugiere continuar con ellos.



Índice de calidad ecológica (ICE)

o En términos prácticos se utilizan los conjuntos de especies de peces, en lugar de comunidades ecológicas como los objetos de gestión en ríos. Un conjunto de peces es definido como un grupo de especies en un sector definido independientemente de las interacciones ecológicas que existen entre ellas. En el momento que se demuestra que hay interacciones ecológicas, se puede hablar entonces de una comunidad (Wootton, 1991). De hecho, Hughes et al (1998) indican que la integridad biológica se analiza mejor a nivel de comunidad o de conjuntos de especies. Estas entidades ecológicas reflejan no solamente los efectos directos e indirectos de los problemas ambientales crónicos (Hughes, R.M., Kaufman, P.R., Herlihy, A.T., Kincaid, T.M., Reynolds, L., Larsen, 1998). Por ejemplo, el restablecimiento de los conjuntos de peces después de perturbaciones catastróficas a corto plazo (inundaciones, crecidas, contaminación puntual) es relativamente rápido (Scott, M.C., Hall, 1997). En cambio, una presión constante sobre el ecosistema, como la agricultura intensa o la contaminación difusa, puede cambiar las comunidades bióticas en el largo plazo (Faush, K.D., Lyons, J., Karr, J.R., Angermeier, 1990; Harding, J.S., Benfield, E.F., Bolstad, P.V., Helfman, G.S., Jones, 1998).

o De manera general, la mayoría de especies *Brycon henni*, *Hemibrycon antioquiae*, *Trichomycterus chapmani*, *Cyprinus carpio*, *Geophagus steindachneri*, *Micropterus salmoides* y *Poecilia reticulata*, se alternaron entre las tres campañas. Dichos taxones deberían ser de considerable atención en cuanto a su grado de ocurrencia y abundancia en futuros monitoreos con el propósito de identificar cambios en el gradiente ambiental del sistema Rionegro y afluentes.

o Es importante continuar con el seguimiento de la calidad ecológica del agua en las estaciones de muestreo, en especial interés en las estaciones donde se colectó la sabaleta *Brycon henni*, ya que esta es uno de los recursos pesqueros más importante para la seguridad alimentaria de la población colombiana, específicamente para los ribereños, ya que, se presenta como una alternativa promisoriosa para el cultivo en aguas a temperaturas medias, donde otras especies no se adaptan de forma satisfactoria. Sirve para el repoblamiento de ecosistemas acuáticos, como opción para la conservación de la especie y aprovechamiento de ciertos

cuerpos de agua. Además de representar una de las múltiples especies que son endémicas del territorio colombiano.

o La distribución del ICE para el sistema Rionegro y afluentes mostraron altos valores en el índice de calidad ecológica, lo cual podría explicarse en función de los taxones registrados y sus abundancias. En las estaciones donde se observó mayores valores ICE fueron E18 (Coltepuento) y E19 (Puente Vía El Tranvía) en la quebrada La Cimarrona, E23 (Omya) en quebrada La Mosca, E26 (El Chagualo) y E28 (Alcaravanes), en la quebrada La Marinilla y E30 (Las Delicias) en la quebrada Chachafruto, estaciones que de modo general no presentan los mejores valores de parámetros fisicoquímicos.

o Calcular el ICE en grupos como peces, podría verse influenciado por la abundancia de los taxones en cada estación de muestreo, mas que por los valores de los parámetros fisicoquímicos, debido a que este factor dependerá de la temporada a monitorear, esfuerzo de muestreo y artes de pesca.

o La sociedad se beneficia ampliamente de los servicios ofrecidos por ríos y lagos en una cuenca hidrológica y por consiguiente tiene una influencia directa o indirecta sobre ellos y su biota acuática. El uso del agua implica numerosas modificaciones a la morfología de los ríos. En cuanto al uso del suelo en las cuencas, las principales fuentes de contaminación puntual y difusa son la agricultura, la industria y la urbanización (Allan, J. D., Erickson, D.L., Fay, 1997; Harding, J.S., Benfield, E.F., Bolstad, P.V., Helfman, G.S., Jones, 1998; Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P.D., Bannerman, 2001). Los ecosistemas acuáticos son también perturbados por la sobre-explotación pesquera, tanto comercial como deportiva (Arlinghaus, R., Mehner, T., Cowx, 2002) y por la introducción de especies exóticas (Ross, 1991).

o Los peces han sido utilizados como indicadores de la calidad del agua en diversos países desde hace tiempo. Los peces son el grupo más diverso entre los vertebrados (Nelson, 1994) sin embargo, muchas especies de agua dulce se encuentran amenazadas por las actividades humanas (Duncan, J.R., Lockwood, 2001). Las comunidades de peces son consideradas como un vector de comunicación útil para sensibilizar al público y a las autoridades sobre la necesidad preservar la calidad de ríos y lagos (Cowx, I.G., Collares Pereira, M.J., 2002). Por ello su caracterización resulta muy importante porque éstas son reconocidas como una buena herramienta de ayuda para la toma de decisiones en materia ambiental.



MACROINVERTEBRADOS

o La composición taxonómica para La cuenca del Río Negro y sus principales afluentes. en las tres campañas de muestreo y 31 estaciones. estuvo conformada por una abundancia total de 34.487 individuos. en la primera campaña se registraron 8.553. segunda campaña 12.541 y tercera 12.193.

o El *Phyllum Arthropoda* presento un alto dominio. alternado en un menor porcentaje con *Mollusca*. *Annelida* y *Plathyhelminthes*; a nivel de clase la dominancia correspondió a *Insecta* seguido de la clase *Gastropoda* con *Oligochaeta*. *Hirudinea*; y en menor proporción las clases *Bivalva*. *Arachnida*. *Crusacea*. *Entognatha*. *Malacostraca* y *Turbellaria*. A nivel de familia se observa la dominancia que tuvo *Chironomidae* y *Physidae* con lo que ratifica las elevadas concentraciones de materia orgánica disuelta en el ecosistema del Río Negro y sus afluentes. estas pertenecientes al orden *Díptera* y *Basommatophora*.

o Las estaciones con mayor aporte al ensamble. para el primer muestreo fue Box Coulvert Km.26 (E22) de la Quebrada La Mosca con 900 individuos. la taxa más representativa fue *Chironomidae* sp. con 836 individuos. para el segundo muestreo Manzanares (E13) de la Quebrada La Pereira con 1266 individuos. la taxa más representativa fue *Tubifex*. con 1.235 individuos y para la última campaña. *Omya* (E23) de la Quebrada La Mosca con 1.788 individuos. la taxa más representativa fue *Physa*. con 1756 individuos. Las estaciones con menor aporte a nivel de abundancias al ensamblaje. para la primera campaña fue Puente Real (E5) de Río Negro con 26 individuos. para el segundo y tercer muestreo Puente Colegio Guillermo Gaviria (E29) de la Quebrada Quebrada Yarumal con 15 y 21 individuos respectivamente.

o Con base a la riqueza (S) observada. puede comentarse que el número de taxa fueron más representativos en cuanto a su riqueza para la Quebrada los Salados. en la estación compañía abajo (E31). el menor aporte de riqueza. se obtuvo en la Quebrada La Cimarrona. en la estación Puente Vía (E19).

o De manera general se tiene que la diversidad de macroinvertebrados en la cuenca del Río Negro es baja. en donde la comunidad de estos organismos es representada únicamente por 5 grupos taxonómi-

cos a decir: *Chironomidae*. *Tubificidae*. *Physidae*. *Erpobdellidae* y *Glossiphonidae*. Estos grupos taxonómicos tienen puntajes bajos en el índice de calidad del agua BMWP-Col. (Roldan, 2003). puntajes que van entre 1 y 3 y que son asignados a aquellos organismos que habitan y toleran aguas fuertemente contaminadas. Complementario a ello se obtuvo un rango bajo-medio grado de equidad entre las distintas especies; que indican presencia de algunas especies dominantes, característica que favorece la diversidad de especies en las estaciones. Es importante resaltar que en varias fuentes hídricas y estaciones se observa una dominancia de familias indicadoras de grados moderados y altos de eutrofización. como *Chironomidae* sp. *Physa*. *Tubifex*. *Helobdella* y *Erpobdellidae* sp; así como también en pocas estaciones se presentó una alta diversidad y presencia del orden *Odonata*. *Ephemeroptera*. entre otros.

o La aplicación del BMWP/Col en el Río y las quebradas presentes en la zona de estudio mostro todos los niveles de calidad. para el primer periodo de muestreo se registraron puntajes de bioindicación altos. es importante resaltar que en la mayoría de las estaciones. la calidad hídrica disminuyo a medida que aumenta el periodo de muestreo. Es importante tener presente que en estos cuerpos de agua se presenta una alta exposición de radiación solar poca área y caudal; obteniéndose una baja densidad de macroinvertebrados acuáticos para algunas estaciones el metabolismo trófico se encuentra dominado por los depredadores; según ello se puede inferir que estos cuerpos de agua que no presentan hábitats óptimos para el desarrollo de vida. pero donde muchos probablemente organismos desarrollas resistencia. habitan y crecen en estos lugares.

o Es importante tener en cuenta que la mayoría de las estaciones presentan una baja calidad hídrica. probablemente debido a la presencia de aguas con abundante materia orgánica. además de la perturbación y actividades antrópicas. que permiten cambios en la estructura. composición y ecología. Por todo lo anterior se concluye que La cuenca del Río Negro y sus principales afluentes en las tres campañas de muestreo presentan un notorio impacto en la estructura, composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos, debido a los cambios de la zona riparia y la ecología del sistema hídrico que se presenta en esta fuente, por lo cual es recomendable realizar actividades de recuperación de este sistema hídrico que permitan recuperar el impacto negativo causado.

Índice de calidad ecológica (ICE)

o Los taxones que presentaron altos óptimos y a su vez baja tolerancia, fueron: *Baetidae sp.*, *Hetaerina sp.*, *Heterelmis sp.*, *Leptonema sp.*, *Mortoniella sp.*, *Rhagovelia sp.*, *Simulium sp.*, indicadores de sensibilidad a la amplitud del rango ambiental y considerados como bioindicadores del gradiente ambiental en el sistema estudiado, finalmente al combinar ambas observaciones estos taxones deberían ser de considerable atención en cuanto a su grado de ocurrencia y abundancia en futuros monitoreos con el propósito de identificar cambios en el gradiente ambiental del sistema Rio Negro y afluentes.

o En torno a los resultados para se observó que las estaciones con mayores valores registrados fueron las estaciones: E11 (Las Acacias), E20 (Romeral), E21 (Puente Molino) y E31 (Compañía Abajo), pertenecientes a la Quebrada la Pereira, la Mosca y el Salado, estas estaciones se caracterizan por presentar aguas tranquilas y transparentes, con presencia de algas y plantas acuáticas sumergidas, vegetación riparia diversa y en su mayoría nativa, en estos puntos de muestreo no se evidencia alta perturbación directa al tramo de la fuente hídrica. Las estaciones con menores valores registrados fueron las estaciones: E7 (Después de descarga PTARD Rionegro), E8 (Puente Autopista), E9 (La Fresera) E15 (Casa Mia), E26 (El Chagualo) y E28 (Alcaravanes), pertenecientes al Rio Negro y la Marinilla, estas estaciones se caracterizan por presentar aguas turbias con una alta cantidad de sedimentos y con una coloración oscura, la vegetación está conformada por pasto y algunos árboles de tamaño pequeño, en estos puntos de muestreo se observa intervenciones antrópicas causadas en su mayoría por la agricultura intensiva (uso de riegos) y el pastoreo de ganado, además de la ubicación cercana de PTAR, adicional a ello el registro de calificación del indicador fisicoquímico de calidad del agua (ICAfa) este entre medio a malo.

o Para el componente hidrobiológico con base en macroinvertebrados presentes en las estaciones del sistema Rio Negro y afluentes, en la mayoría de las estaciones se presentó una relación directa entre los índices ICE y el BMWP/Col, para este caso las condiciones ecológicas de este afluente están directamente relacionadas con las particularidades de este grupo.



MACRÓFITAS

o La época de transición de periodo seco a lluvias correspondiente a la campaña 1 desarrollada en agosto de 2020 se caracterizó por alta riqueza de especies y menor porcentaje de cobertura, mientras que por el contrario la campaña 3 de época seca mostró máximas coberturas de plantas acuáticas y menor riqueza de especies.

o La campaña 3 presentó las mayores coberturas y el mayor número de especies del estudio probablemente por el incremento de nutrientes y la disminución del caudal y del nivel de las fuentes hídricas consideradas.

o Las quebradas con una sola estación de muestreo como Chachafruto, El Salado y Yarumal tienen número de especies y porcentaje de coberturas similares que los agrupa en análisis a través del dendograma.

o *Paspalum cf. repens* y *Polygonum punctatum* son las especies con máximas coberturas y presentes en la gran mayoría de estaciones monitoreadas, esto se debe probablemente a que son especies de reproducción y dispersión rápida, que se adaptan a condiciones de humedad y periodos de sequía.

o *Egeria densa* y *Potamogeton crispus*, aumentaron considerablemente su porcentaje de cobertura en época seca, principalmente en estaciones como Montenevado (E2), Puente La Feria (E27), San Sebastian (E12) y Casa Mia (E15), entre otras.

o El monitoreo de las plantas acuáticas en las diferentes fuentes hídricas indica la diversidad de la comunidad y el análisis de coberturas puede dar una idea del estado del ecosistema y los cambios por régimen de lluvias, transparencia, profundidad, caudal, entre otros.

o Las plantas anfibias, semiacuáticas o adaptadas a desarrollarse en zonas húmedas son importantes dentro de la comunidad de plantas acuáticas, principalmente en sistemas lóticos, donde pueden reflejar las dinámicas del sistema y de zonas aledañas, los cambios entre periodos y la alteración del ecosistema, entre otros.

Índice de calidad ecológica (ICE)

o El periodo hidroclicmático de época seca favorece considerablemente el establecimiento de la vegetación acuática gracias a la disponibilidad de nutrientes especialmente en estaciones con entrada de vertimientos de aguas residuales.

o El desarrollo acelerado de plantas acuáticas puede contribuir a la colmatación de los sistemas acuáticos, por lo tanto, el monitoreo del incremento y/o disminución de la cobertura de especies exclusivamente acuáticas como *Egeria densa* y *Myriophyllum aquaticum* es fundamental para establecer alertas de contaminación por exceso de nutrientes especialmente aguas arriba de la fuente hídrica.

o La época de lluvias correspondiente a campaña 2 presentó los valores más bajos de coberturas de macrófitas por incremento del nivel, caudal, velocidad de corriente, sólidos suspendidos, aumentando los procesos de dilución.

o El índice de calidad ecológica ICE responde de manera inversa a la calidad del agua, es decir, los valores del índice se incrementan en relación con las condiciones para el desarrollo de plantas acuáticas que tienen características mesotróficas a eutróficas gracias al incremento de nutrientes como nitratos y ortofosfatos, conductividad eléctrica y disminución de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno.

o Por el contrario, los valores del ICE más bajos que generalmente indican una baja calidad ecológica, en el caso de plantas acuáticas se presentan en estaciones con buenas condiciones de calidad del agua, incremento de oxígeno disuelto, mayor transparencia y disminución de nutrientes ya que estas estaciones no tienen las condiciones para encontrar coberturas considerables de macrófitas.

o La relación de la cobertura de los taxones: *Polygonum hydropiperoides*, *Polygonum acuminatum*, *paspalum repens*, *Pennisetum purpureum*, *Commelina difusa*, *Egeria densa*, *Myriophyllum aquaticum*, *Ludwigia peruviana* y *Eleocharis elegance*, con las variables ambientales, a través del ICE, identifica estos como clave a la hora de hacer seguimiento de sus coberturas que pueden reflejar los cambios en la calidad del agua de las diferentes fuentes hídricas que hacen parte de la cuenca del Río Negro.

Bibliografía

A

Abarca Nelida, Jahn Regine, Zimmermann Jonas, E. N. (2014). Does the Cosmopolitan diatom *Gomphonema Parvulum* (Kutzing) Kutzing Have a Biogeography? *Plos one*, 9(1), 18.

Abuhatab, Y. A. (2011). Actividad metabólica diaria del Biofilm en el sector medio de u río de alta montaña (Río Tota, Boyaca-Colombia).

Abuhatab, Y.A & Donato, J. (2012). *Cocconeis Placentula* y *Achnanthydium minutissimum* especies indicadoras de arroyos aolitotróficos Andinos. 34(1), 205-212.

Acuicola, P., Prieto, M. J., Mogollon, M. J., Castro, A. L., & Sierra, L. a. (2005). Productividad De Tres Diatomeas Marinas Con Environmental and Crop Conditions Effects on Three Sea Diatomean Productivity (Yield) With Acuicol Potential. 1, 544-554.

Adela, M., & Toja, J. (2003). Efecto de la fluctuación de nivel del agua en la biomasa, la diversidad y las estrategias del perifiton de los embalses Casco y Toja. *Limnetica*, 22, 115-134.

Adela, M., & Toja, J. (2003). Efecto de la fluctuación de nivel del agua en la biomasa, la diversidad y las estrategias del perifiton de los embalses Casco y Toja. *Limnetica*, 22, 115-134.

Alberghina, J. S. (2004). Estudios ultraestructurales en el género *Oedogonium* Link (Oedogoniales, Chlorophyta) y su posición filogenética dentro de las algas verdes.

Allan, J. D., Erickson, D.L., Fay, J. (1997). "The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales". *Freshwater Biology*, 37, 149-161 pp.

Álvarez, L. F. & G. R. (1983). Estudio taxonómico y ecológico de los hemípteros a diferentes pisos altitudinales en el Departamento de Antioquia. *Rev. Actual. Biol.* 12 (44): 31-45.

APHA. (2017). American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. (23.a ed.).

Arango, M. C. & G. R. (1983). Estudio de las larvas acuáticas del orden Odonata adiferentes pisos altitudinales en el Departamento de Antioquia. *Actual. Biol.* 12(46): 91-104.

Arcos-Pulido, M. D. P., & Gómez, A. C. P. (2006). Microalgas perifíticas como indicadoras del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Nova*, 4(6), 60-79.

Arlinghaus, R., Mehner, T., Cowx, I. G. (2002). "Reconciling traditional inland fisheries management and sustainability in industrialized countries, with emphasis on Europe", *Fish and Fisheries*, 3, 61-316 pp.

B

Barbour, M. T., Faulkner, C., & Gerritsen, J. (1999). Fish Protocols. En *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish* (2.a ed., p. 22).

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999a). Data integration and reporting. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, Karr, 1-11.

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999b). Habitat assessment and physicochemical parameters. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, 1-35.

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D Snyder, J. B. S. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*. Environmental Protection Agency, 344.

Baylón Coritoma, M., Roa Castro, K., Libio Sánchez, T., Tapia Ugaz, L., Jara Pena, E., Macedo Prada, D., Salvatierra Sevillano, A., & Dextre Rubina, A. (2018). Evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú). *Ecología Aplicada*, 17(1), 119. <https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.1180>

Bicudo, C., & Menezes, M. (2017). Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. (Rima).

Bojorge-García, M. G., & Cantoral-Uriza, E. A. (2007). Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el río Magdalena. *D. F. Hidrobiologica*, 17(1), 11-24.

Botero-Álvarez, C., Montoya-Moreno, Y., Aguirre-Ramírez, N. J., Vélez-Macías, F. de J., & Hernández-Atilano, E. (2020). Vegetación acuática y semiacuática en tres ríos altoandinos y su relación con la fisicoquímica del agua. *Revista Politécnica*, 16(31), 138-150. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n31a10>

Botero-Botero, Alvaro; Ramírez-Castro, H. (2011). Ecología trófica de la Sabaleta *Brycon henni* (Pisces: Characidae) en el río Portugal de Piedras, Alto Cauca, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, vol. 16, núm. 1, enero-abril, 2011, pp. 2349-2355. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

Bourrelly, P. (1988). *Compléments les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome I: Les algues vertes.*

Builes, J., & Uran, A. (1974). Estudio del ciclo sexual de la Sabaleta (*Brycon henni*), su comportamiento y fecundación artificial. En *Actualidades Biológicas* (Vol. 7, pp. 2-12).

Bussing, W. (1998). *Peces de las aguas continentales de Costa Rica.*

C

C., R.-V. (1993). Composición y estructura de las comunidades de peces de la cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Biología y Educación*; 3(5):8-19. 19.

Cambra, H., Sánchez, P., Vicente, E. (2005). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la confederación Hidrográfica del Ebro. *Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton fitobentos (Microalgas Bentónicas), Macrófitos, Invertebrados Bentónicos.* Ministerio del medio ambiente, 1998, 236.

Chalar, G., Arocena, R., Pacheco, J. P., & Fabián, D. (2011). Trophic assessment of streams in Uruguay: A Trophic State Index for Benthic Invertebrates (TSIBI). *Ecological Indicators*, 11, 362-369.

CJA, A. (1995). Contribución al conocimiento biológico de los peces de los Llanos, yamú (*Brycon siebenthalae*) y sapuara (*Semaprochilodus laticeps* cf.), con fines de cultivo. Informe final de investigación. *UniLlanos-Colciencias; Villavicencio*; 63 p.

CJA, A. (2002). *Biología reproductiva del yamú Brycon siebenthalae (Teleostei, Characidae) en cautiverio.* Tesis de doctorado, Universidad del Valle, Cali. 112p.

Contreras Leiva, M., Araya Navarrete, E., Mancilla Garrido, G., Fuentes Benitez, L., Martín Miner, M., & Ray Badilla, C. (2018). *Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile.* Fondo de investigación.

Cook, C. D. K., Gut, B. J., Rix, E. M., & Schneller, J. (1974). *Water plants of the world: a manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes.* Springer Science & Business Media.

Cortés-castillo, D., & Rangel-ch, J. O. (2015). *Vegetación acuática y de pantano de las ciénagas del departamento de Cesar (Colombia) Ciénagas del departamento de Cesar (Colombia) Aquatic and marsh vegetation of the wetlands in the Department of.* September.

Cowx, I.G., Collares Pereira, M.J. (2002). "Freshwater fish conservation: options for the future". En: Collares-Pereira, M.J., Cowx, I.G., Coehlo, M.M. (eds) *Conservation of freshwater fishes: options for the future.* Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, 443-452 pp.

Cox, E. J. (1996). *Identification of Freshwater Diatoms from Live Material.*

D

Dahl, G. (1971). *Los peces del norte de Colombia.* Ministerio de Agricultura, Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA) Talleres Litografía Arco Bogotá D.C., Colombia. 391 p.

Dajoz, R. (2002). *Tratado de ecología.* 2a edición. Madrid: Ed. Mundi-Prensa.

Database., G. I. S. (2013). *Cyprinus carpio.* Consultado en junio de 2013 en: <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=60&fr=1&sts=sss&lang>.

Díaz-Espinosa, A. M., Díaz-Triana, J. E., & Vargas, O. (2012). *Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá.* Bogotá DC: Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia y Secretaria Distrital de Ambiente.

Duncan, J.R., Lockwood, J. L. (2001). "Extinction in a field of bullets: a search for causes in the decline of the world's freshwater fishes", *Biological Conservation*, 102, 97-105 pp.

E

Edmonson, W. (1959). *Freshwater Biology.* John Wiley and Sons, Nueva York.

Edmunds, G. (1976). *The mayflies of North and Central America.* Univ. Of Minnesota Press, Mineapolis.

Eigenmann C., H. (1913). Some results from an ichthyological reconnaissance of Colombia, South America. Part. II *Indiana University Studies* 18: 1 – 32 32.

Eigenmann, C., H. (1912). *The freshwater fishes of British Guyana, including a study of species and the relations of the fauna of the plateau to that of the Lowlands.* Mem. Carnegie Mus. Vol. V, Pittsburgh. 578 pp. 103 plates.

Eigenmann, C., H. (1922). *The fishes of western South America, Part I, The fresh-water fishes of northwestern South America, including Colombia, Panamá, and the Pacific slopes of Ecuador and Perú, together with an appendix upon the fishes of the Río Meta in Colom-*

bia, Memories Carn.

Eschmeyer, W. N. Y. J. D. F. (2014). Species By Family/Subfamily. (<http://research.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>). Electronic version accessed 13 septiembre 2014.

F

Fassett, N. C. (2006). A manual of aquatic plants. Univ of Wisconsin Press.

Faush, K.D., Lyons, J., Karr, J.R., Angermeier, P. L. (1990). "Fish communities as indicators of environmental degradation", American Fisheries Society Symposium, 8, 123-144 pp.

Flynn, N., D. Snook, A. W. y H. J. (2002). Macrophyte and periphyton dynamics in a UK Cretaceous chalk stream: The River Kennet, a tributary of the Tannes. *The Science of the Total Environment* 282-283: 143-157.

Forero, L. C. (2012). Elaboración de un índice para la evaluación de la calidad ecológica de la cuenca del Río Negro (Antioquia) con base en los macroinvertebrados bentónicos. Universidad de Antioquia.

Frezel, S. A. (1996). An Application of Bioassessment Metrics and Multivariate Techniques to Evaluate Central Nebraska Streams, Lincoln, USGS.

Froeser, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of applied ichthyology*, 22(4), 241-253.

Fuemayor, G., Jonte, L., Rosales, L. & M. E. (2009). Crecimiento de la cianobacteria marina *Oscillatoria* sp. MOF-06 en relación al pH en cultivos discontinuos. Laboratorio de Microorganismos Fotosintéticos, Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezu.

G

Galindo-Alcázar, O., Medina Jaritz, N. B., Garduño-Solórzano, G., & Olvera-Ramírez, R. (2018). Cianobacterias Y Microalgas De Biopelículas Superficiales De La Zona Arqueológica de Malinalco, México. *Polibotánica*, 0(45), 131-146. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.10>

Gallego, C. (2019). Identificación de diatomeas perifíticas en la intersección del río Chocho, río Subia y río Barro Blanco, ubicados en el departamento de Cundinamarca. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/15954/1/SusanaCarolinaRojasGallego2019>.

PDF.pdf

Galvis, G., J. Mojica, F. Provenzano, C. Lasso, D. Taphorn, R. Royero, C. Castellanos, A. Gutiérrez, M. Gutierrez, y López, L. M. Mesa, P. S.-D. y C. C. (2007). Peces de la Orinoquia Colombiana con énfasis en especies de interés ornamental. Incoder. Universidad Nacional. SINCHI. Bogotá, Colombia.

Gómez Rodríguez, A. M., Valderrama Valderrama, L. T., & Rivera-Rondón, C. A. (2017). Comunidades de macrófitas en ríos andinos: Composición y relación con factores ambientales. *Acta Biologica colombiana*, 22(1), 45-58. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n1.58478>

H

Haase, R., & Nolte, U. (2008). The invertebrate species index (ISI) for streams in southeast Queensland, Australia. *Ecological Indicators*, 8, 599-613.

Harding, J.S., Benfield, E.F., Bolstad, P.V., Helfman, G.S., Jones, E. B. D. (1998). "Stream biodiversity: the ghost of land use past", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 95, 14843-14847 pp.

Hart, D. D. (1994). Building a Stronger Partnership between Ecological Research and Biological Monitoring. *Journal of the North American Benthological Society*, 13, 110-116.

Hernandez, E., Jimenez, P & Toro, B. (2014). Relación entre la comunidad de fitoperifiton y diferentes fuentes de contaminación en una quebrada de los Andes colombianos, relación fitoperifiton y contaminación ambiental. *Boletín científico centro de museos*, 18(1), 49-66.

Horner, R. R., Welch, E. B., Seekley, M. R., & Jacoby, J. M. (1990). Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshwater Biology*, 24, 215-232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1990.tb00704.x>

Howes, G. (1982). Review of the genus *Brycon* (Teleostei: Characoidei). *Bull Br Mus Nat Hist (Zool.)*; 43:1-47.

Hughes, R.M., Kaufman, P.R., Herlihy, A.T., Kincaid, T.M., Reynolds, L., Larsen, D. P. (1998). "A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55, 1618-1631 pp.

I

ideam, & invemar. (2017). PROTOCOLO DE MONITOREO DEL AGUA- IDEAM.

J

Jiménez-Segura L.F., J. Álvarez, L.E. Ochoa, A. Loaiza, J.P. Londoño, D. Restrepo, K. Aguirre, A. Hernández, J. D. C. Y. U. J.-V. (2014). Guía Ilustrada Peces Cañón del río Porce, Antioquia. EPM. Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia - Medellín, Colombia. 106 pp.

K

Kolkwitz, R. y M. M. (1909). Ecology of saprobien animals. International review of the total. Ökologie der tierischen Saprobien. Internationales Revue der gesamten. Hydrobiologie. Vol.2:126-152.

Komárek J, A. K. (1989). Komárek J, Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of the cyanophytes 4: Nostocales. – *Algol. Stud.* 56, 247–345.

Komárek, J., & Foot, B. (1983). Das Phytoplankton des Süßwassers Systematik und Biologie. 7. Teil: Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales. Pp. 1-1044. In: Elster HJ, Ohle W, (eds.). Die Binnengewässer. Stuttgart, Begründet von August Thienemann.

Kullander, S. (2003). Family Cichlidae (Cichlids). pp. 605–654. En: Reis R. E., S. O. Kullander y C. J. Ferraris Jr. (eds.). Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America. Edipucrs. Porto Alegre, Brasil. 729 p.

L

Leiva-Tafur, D., Rascón, J., & Corroto, F. (2017). Diversidad estacional de la clase bacillariophyceae en el río Utcubamba, Perú. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(2), 84. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.010>

Lima FCT. (2003). Subfamily Bryconinae (Characins, tetras). In: Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Organized by Reis RE, Kullander SO, Ferraris CJ. Edipucrs, Porto Alegre; 174-181.

M

Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Oviedo, J. S. U., Galvis Vergara, G., Villa-Navarro, F. A., Vásquez Gamboa, L., Prada-Pedrerros, S., & Ardila Rodríguez, C. (2005). Peces de los Andes (1ra ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos «Alexander von Humboldt».

Meerhoff, M., & Mazzeo, N. (2004). Importancia de las plantas flotantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de Sudamérica. *Ecosistemas*, 13(2), 0. <https://doi.org/10.7818/re.2014.13-2.00>

Merrit, R. W. & K. W. C. (1996). An introduction to aquatic insects of North America. 3a ed., Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, 862 p.

Miles, C. (1947). Peces del río Magdalena, Ministerio de Economía Nacional, Sección de Piscicultura, Pesca y Caza, Bogotá, Colombia, 214 p.

Mochini-Carlos, V. (1999). Importância, estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos continentais. Em: POMPÊO, M. L. M. (Ed.). *Perspectivas da Limnologia no Brasil*, São Luís: Gráfica e Editora União, 198 pp.

Mojica, C. Castellanos, S. U. y R. Á. (2002). Libro Rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. La serie Libro Rojo de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente.

Montoya, Y., & Ramírez, J. J. (2007). Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 55(2), 585-593.

Montoya, Y., Restrepo, J.J & Segecin, R. (2008). Diatomeas perifíticas de la zona de ritral del río Medellín, Antioquia (Colombia). *Revista Actualidades Biológicas*, 30(89), 181-192. [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Diatomeas+perif?ticas+de+la+zona+de+ritral+del+r?o+medell?n+\(antioquia\),+colombia#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Diatomeas+perif?ticas+de+la+zona+de+ritral+del+r?o+medell?n+(antioquia),+colombia#0)

Montoya-López. (2006). Algunos aspectos biológicos y del manejo en cautiverio de la Sabaleta Brycon henni Eigenmann, 1913 (Pisces: Characidae). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Print version ISSN 0120-0690. On-line versión ISSN 2256-2958. Grupo de Fisiología y Biotec.

Montoya-Moreno, Y., & Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(0124-177X), 91-117.

Montoya-Moreno, Y., & Aguirre-Ramírez, N. (2008). Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical colombiana. *Hidrobiológica*, 18(3), 189-197.

Moreira, J. A. (1988). Productividade primária do periphyton em viveiros destinados a piscicultura. *Disertação do Mestrado, Univ. Federal de Bahia, Brasil.*, 250.

N

Nelson, J. S. (1994). *Fishes of the world*, New York, John Wiley and Sons.

Nelson, JS, Grande, TC., Wilson, M. (2006). *Peces del mundo*. 5a Edición, John Wiley and Sons, Hoboken. <https://doi.org/10.1002/9781119174844>.

Núñez Labra, G. (2015). Papel ecológico de los macrófitos en lagos y lagunas de montaña y factores determinantes de sus comunidades. 300.

O

Ortega-Lara A., A. Aguiño., G. C. S. (2002). Caracterización de la ictiofauna nativa de los principales ríos de la cuenca alta del río Cauca en el departamento del Cauca. Informe presentado a la Corporación Autónoma Regional del Cauca, CRC. Fundación para la Investigación y el Desarrollo Sostenible.

Osorio Ávila, F. J., Rodríguez Barrios, J., & Montoya Moreno, Y. (2014). Sucesión de microalgas perifíticas en tributarios del río gaira, sierra nevada de santa marta, Colombia. *Acta Biologica colombiana*, 20(2), 119-131. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n2.41932>

Osorio-Ávila, F. J., & Manjarres-García, G. A. (2015). Ficoperifiton asociado a macrófitas en la ciénaga Cerro de San Antonio, Magdalena-Colombia. *Intropica*, 10(2), 74. <https://doi.org/10.21676/23897864.1649>

P

Pedraza-Garzon, E., & Donato-Rondon, J. (2011). Diversidad y distribución de las diatomeas en un arroyo de montaña de los Andes Colombianos. *Caldasia*, 33(1), 177-191.

Pennak, R. (1978). *Freshwater Invertebrates of the United States*. 2da ed., WileyInterscience, New York, 803 p.

Peña, J. (2019). Potencial biotecnológico de Cianoprocariontes provenientes de Islas del Rosario, Colombia.

PHF, L. (2003). Family Poeciliidae (Livebearers). pp. 555 – 581. En: Reis R. E., S. O. Kullander y C. J. Ferraris Jr. (eds.). *Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America*. Edipucrs. Porto Alegre, Brasil. 729 p.

Pielou, E. C. (1966). *The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Co-*

lections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131–144.

Pineda H, Arboleda L, Echeverry A, Urcuqui Es, Molina D, O. M. (2007). Caracterización de la diversidad genética en el pez *Brycon henni* (Characiformes: Characidae) en Colombia central por medio de marcadores RAPD, *Rev Biol Trop* 2007; 55(3-4):1025-1035.

Posada García, J. A., & López Muñoz, M. T. (2011). Plantas acuáticas del altiplano del Oriente antioqueño, Colombia. Grupo de Limnología y Recursos hídricos, Universidad Católica de Oriente.

Posada-G., J. A. & G. R. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el nor-occidente de Colombia. *Caldasia* 25 (1): 169-192.

Potapova, M. (2009). *Melosira varians*. En diatomeas de América del Norte. Obtenido el 12 de junio de 2021 de https://diatoms.org/species/melosira_varian.

Prescott, G. W. (1962). *Algae of the western great lakes area*. W.M.C. Brown Company Publishers, Iowa, USA.

R

Raffo Lecca, Eduardo; Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17, 71-80.

Ramírez, A., & Rosas, K. (2006). *Insectos acuáticos de Puerto Rico: Guía para la identificación de las familias*. Universidad de Puerto Rico. Recinto de Río Piedras: Instituto para Estudios de Ecosistemas Tropicales.

Ramírez, G. y V. V. (1998). *Limnología Colombiana*. Universidad Jorge Tadeo Lozano-Exploration Company Limited (Colombia). Bogotá. Colombia. 293 pp.

Rangel, O. (2010). *Colombia Diversidad Biótica IX: Ciénagas de Córdoba: Biodiversidad, Ecología y Manejo Ambiental*.

Rangel-Ch, J. O., Jaramillo-J, A., Parra, N., Rivera, O., Rocha, M., & Morales, I. (2012). *Colombia diversidad biótica: Las ciénagas del departamento del Cesar*. January, 77.

Reis, R., Kullander S., C. F. J. (2003). *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. Edipucrs. 742 pag.

Restrepo, J. J. R. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: Aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios (1era Edici)*. Editorial Universidad de Antioquia.

Rodrigues, L., D. B. y V. M.-C. (2003). O papel do perifiton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais. p: 211-229. En: Thomaz, S. M. y L. M. Bini. (Eds.). *Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas*. Eduem, Maringá.

Roldán G., Restrepo, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. En Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente, Academia Colombiana de Cien-

cias Exactas, Físicas y Naturales (2.a ed.). Universidad de Antioquia.

Roldán, G. (1992). Fundamentos de limnología neotropical. Colección Ciencia y Tecnología. Editorial Universidad de Antioquia.

Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colom.Cienc.* 23: 375-387.

Roldán, G. (2003). Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col. Ed Universidad de Antioquia. 170pp. Medellín, Colombia.

Roldán-Pérez, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia (F. para la P. del M. A. "José C. M.-F. C. - (ed.)). Universidad de Antioquia.

Ross, S. T. (1991). "Mechanisms structuring stream fish assemblages: ¿are there lessons from introduced species?" *Environmental Biology of Fishes*, 30, 359-368 pp.

Round., R.M, C., & D.G., M. (1990). *The Diatoms: Biology and morphology of the genera*.

S

Schmidt-mumm, U., & Janauer, G. (2014). Seasonal dynamics of the shoreline vegetation in the Zapotosa floodplain lake complex, Colombia.

Scott, M.C., Hall, L. W. (1997). "Fish assemblages as indicators of environmental degradation in Maryland coastal plain streams". *Transactions of the American Fisheries Society*, 126, 349-360 pp.

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois.

Simon, N. M. (2012). Cianobacterias bentónicas marinas en el Caribe central y sur de Costa Rica Benthic marine cyanobacteria in the Caribbean and south Central Costa Rica. *Rev. Mar. Cost.* ISSN 1659-455X, 4(506), 13-32.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 163, 688.

Spaulding, S., Edlund, M. (2010). *Surirella*. En *diatomeas de América del Norte*. Obtenido el 12 de junio de 2021 de <https://diatoms.org/genera/surirella>.

Stanford, L. Loeb, A. S. (1994). *Biological Monitoring of Aquatic Systems*. Press.

T

Ter Braak, C. J., & Smilauer, P. (2002). *Canoco for Windows (4.5)*. Biometris-Plant Research International.

U

Usma J., S. (1996). Estudio preliminar de la ictiofauna del río Escalerete. *Cespedesia*; 21(68):41-53.

Usma S., L. V. (2002). *Trichomycterus caliensis*. pp. 215 – 216. En: Mojica, I., C. Castellanos, S. Usma y R. Álvarez (eds.). 2002. Libro Rojo de los peces dulceacuícolas de Colombia. Serie Libro Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Univesi.

V

Villa-Navarro, F. A. (1999). Estudio biológico pesquero de la represa de Prado para la determinación de especies promisorias en acuicultura. Universidad del Tolima, Cortolima, INPA, Gobernación del Tolima y Comité Departamental de Cafeteros del Tolima, Ibagué. 105pp.

W

Wang, L., Lyons, J., Kanehl., P.D., Bannerman, R. (2001). "Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales", *Environmental Management*, 28, 255-266 pp.

Wetzel, R. G. (1983). *Periphyton of aquatic ecosystems*. En R. G. Wetzel (Ed.), *Developments in hydrobiology* (Vol. 17). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-7293-3>

Winter, J. y H. D. (2000). Epilithic diatoms as indicators of stream total N and P concentration. *Journal of the North American Benthological Society* 19 (1): 32-49.

Wootton, R. J. (1991). *Ecology of teleost fishes*, New York, Chapman & Hall.



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Corporación Académica Ambiental