

**CALIDAD DEL AGUA EN TRES AFLUENTES DE CAÑO GRANDE,
GUAVIARE-COLOMBIA, A PARTIR DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS Y SU RELACIÓN CON CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS**

Luisa Maria Tejada Henríquez

Universidad El Bosque

Facultad de Ciencias

2023

MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO E HIDROBIOLÓGICO DE LAS ZONAS DE AMORTIGUACIÓN DE ÁREAS
PROTEGIDAS TERRITORIAL AMAZONIA

**CALIDAD DEL AGUA EN TRES AFLUENTES DE CAÑO GRANDE,
GUAVIARE-COLOMBIA, A PARTIR DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS Y SU RELACIÓN CON CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS**

Luisa María Tejada Henríquez

Directora Biol. M.Sc. Mónica Andrea Castillo Aguilar

Modalidad Pasantía

Universidad El Bosque

Facultad de Ciencias

Programa de Biología

Bogotá, D.C

2023

**Calidad del agua en tres afluentes de Caño Grande, Guaviare-Colombia, a partir de
macroinvertebrados acuáticos y su relación con características fisicoquímicas**

Luisa Maria Tejada Henríquez

APROBADO

Biol. M.Sc. Mónica Andrea Castillo-Aguilar
Directora

Arturo Liévano León
Jurado

Karla Contreras Hernández
Jurado

Víctor Hernando Rodríguez Saavedra
Jurado

Agradecimientos

Le agradezco al Sistema Nacional de Parques Nacionales Naturales de Colombia por permitir la ejecución de este monitoreo tan importante para la preservación y conservación de nuestros ecosistemas y afluentes hídricos del Guaviare.

A la Universidad El Bosque y la facultad de Ciencias por otorgarme todos los espacios disponibles para la ejecución de este trabajo de grado, le agradezco al programa de Biología por abrirme sus puertas, al Grupo de Investigación del programa de Biología (GRIB) por darme la oportunidad de esta plaza.

Le agradezco profundamente a mi mentora y directora Mónica Andrea Castillo Aguilar, quien estuvo muy presente durante todas las fases de este proyecto y que gracias a su paciencia, asesoría y guía fue posible la culminación de este trabajo de grado.

Le doy las gracias a los funcionarios de Parques Nacionales Naturales: Federico Beltrán, Johnny Valdés, Leyder Covaleda Jessica Vega, Javier Marín, John Mosquera y Luz Marina Velandia por la ejecución de la fase de campo, que a pesar de las dificultades de la zona siempre realizaron todos los muestreos adecuadamente.

A mis padres Judit Henríquez y Javier Tejada les doy las gracias por todos los sacrificios que han hecho para permitirme estudiar la carrera de biología, porque sin ellos no estaría logrando culminar este pequeño paso en mi proyecto de vida.

Le agradezco a mi compañero de vida Daniel Tolosa por haber estado presente durante todo mi proceso, apoyándome incondicionalmente y ayudándome cuando no sabía qué camino tomar.

A mis amigos y compañeros de laboratorio Carolina Sánchez, Oscar Barbosa, Sebastián Bernal, Angela Hurtado y Alejandro Díaz les agradezco la compañía en esas tardes de identificación y de escritura de etiquetas, por darme ánimos y siempre sacarme una sonrisa.

Nota de salvedad

“La Universidad el Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores, sólo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismos en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.



Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Marco de Referencia	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Parámetros físicoquímicos y medioambientales.....	3
2.2.1. Oxígeno Disuelto (OD)	4
2.2.2. Temperatura.....	4
2.2.4. Sólidos Disueltos.....	5
2.2.5. pH.....	5
2.2.6. Alcalinidad.....	6
2.2.7. Caudal.....	6
2.3. Macroinvertebrados acuáticos	7
2.3.1. Índices Biológicos	7
2.3.1.1. Biological Monitoring Working Party - BMWP/Col	7
2.3.1.2. Average Score per Taxon – ASPT	8
2.4. Índices de diversidad	9
2.4.1. Shannon -Weaver	9
2.4.2. Simpson	9
2.4.3. Margalef.....	10
2.5. Análisis de Correspondencia Canónica CCA.....	10



2.6.	<i>Marco legal</i>	11
2.6.1.	(Decreto 2811, 1974)	11
2.6.2.	(Decreto 1729, 2002)	11
2.6.3.	(Decreto 1376, 2013)	12
2.6.4.	(Decreto 1076, 2015)	12
3.	<i>Pregunta de Investigación</i>	13
4.	<i>Justificación</i>	14
5.	<i>Objetivos</i>	16
5.1.	<i>General</i>	16
5.2.	<i>Específicos</i>	16
6.	<i>Método</i>	17
6.1.	<i>Capacitaciones</i>	17
6.2.	<i>Área de estudio</i>	18
6.3.	<i>Estaciones de muestreo</i>	19
6.3.1.	<i>Reserva Natural de la Sociedad Civil La Fortuna</i>	19
6.3.2.	<i>Reserva Natural de la Sociedad Civil Las Violetas</i>	21
6.3.3.	<i>Reserva Natural de la Sociedad Civil La Siberia</i>	22
6.4.	<i>Toma y procesamiento de parámetros físicoquímicos y medioambientales</i>	23
6.4.1.	<i>Toma de muestras de agua</i>	23
6.5.	<i>Análisis de datos</i>	24



6.5.1.	<i>Análisis de datos fisicoquímicos</i>	24
6.5.2.	<i>Índices Biológicos</i>	25
6.5.3.	<i>Índices de diversidad</i>	25
6.5.4.	<i>Análisis de Correspondencia Canónica CCA</i>	25
6.6.	<i>Recolección y procesamiento de macroinvertebrados</i>	25
6.6.1.	<i>Métodos de recolecta</i>	25
6.6.2.	<i>Procesamiento de macroinvertebrados</i>	26
7.	Resultados	28
7.1.	<i>Capacitaciones</i>	28
7.2.	<i>Parámetros fisicoquímicos In-situ</i>	28
7.2.1.	<i>Relación entre oxígeno disuelto mg/L y temperatura °C.</i>	28
7.2.2.	<i>Saturación de oxígeno</i>	30
7.2.3.	<i>Relación entre la conductividad y pH</i>	31
7.3.	<i>Parámetros fisicoquímicos Ex – situ</i>	33
7.3.1.	<i>Fósforo total (P) mg/L Vs fosfato (PO₄³⁻) mg/L</i>	33
7.3.2.	<i>Calcio (Ca²⁺)mg/L Vs carbonato CaCO₃ mg/L</i>	34
7.4.	<i>Comportamiento del caudal</i>	35
7.5.	<i>Macroinvertebrados</i>	36
7.5.1.	<i>Abundancia relativa</i>	36
7.5.2.	<i>Abundancia relativa por estaciones y zona de muestreo</i>	38



7.5.2.1. <i>RNSC La Fortuna caño Lavapatás</i>	38
7.5.2.2. <i>RNSC Las Violetas caño Palogrueso</i>	39
7.5.2.3. <i>RNSC La Siberia caño Choapo</i>	41
7.6. <i>Índices biológicos</i>	43
7.6.1. <i>Biological Monitoring Working Party BMWP/col y Average Score per-Taxon ASPT</i>	43
7.6.2. <i>Índices de diversidad</i>	43
7.7. <i>Análisis de correspondencia Canónica CCA</i>	44
8. <i>Discusión</i>	46
8.1. <i>Variables fisicoquímicas</i>	46
8.2. <i>Diversidad de macroinvertebrados</i>	47
8.3. <i>Índices de calidad de agua BMWP/Col – ASPT e índices de diversidad</i>	51
8.4. <i>Análisis de Correspondencia Canónica CCA</i>	52
9. <i>Conclusiones y recomendaciones</i>	54
9.1. <i>Conclusiones</i>	54
9.2. <i>Recomendaciones</i>	55
10. <i>Referencias bibliográficas</i>	56
11. <i>Anexos</i>	66



Figuras

<i>Figura 1. Zona de estudio y estaciones de muestreo.</i>	19
<i>Figura 2. Estaciones de muestreo RNSC La Fortuna – caño Lavapatatas.</i>	20
<i>Figura 3. Estaciones de muestreo RNSC Las Violetas – caño Palogrueso.</i>	21
<i>Figura 4. Estaciones de muestreo RNSC La Siberia – caño Choapo.</i>	22
<i>Figura 5. Método para la toma y procesamiento de muestras de agua.</i>	24
<i>Figura 6. Métodos de muestreo.</i>	26
<i>Figura 7. Identificación y procesamiento de macroinvertebrados.</i>	27
<i>Figura 8. Relación entre oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura (°C) en los tres caños de estudio.</i>	29
<i>Figura 9. Saturación de oxígeno (%) para los tres caños de estudio.</i>	30
<i>Figura 10. Relación entre conductividad($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH para los tres caños de estudio.</i>	32
<i>Figura 11 Relación entre el fósforo (P) y fosfato (PO_4^{3-}) para los tres caños de estudio.</i>	33
<i>Figura 12. Relación de calcio (Ca^{2+}) y carbonato CaCO_3 para los tres caños de estudio.</i>	34
<i>Figura 13 Caudal para cada caño durante los meses de muestreo.</i>	36
<i>Figura 14. Abundancia relativa para todos los caños.</i>	37
<i>Figura 15. Abundancia RNSC La Fortuna.</i>	38
<i>Figura 16. Abundancia RNSC Las Violetas.</i>	40
<i>Figura 17. Abundancia RNSC La Siberia.</i>	42
<i>Figura 18. Resultados de índices biológicos BMWP/Col y ASPT.</i>	43
<i>Figura 19. Análisis de correspondencia canónica.</i>	45



Tablas

<i>Tabla 1. Parámetros fisicoquímico y sus unidades.</i>	4
<i>Tabla 2. Puntajes de BMWP/Col para las familias bioindicadoras.</i>	8
<i>Tabla 3. Valores de los Índices BMWP/Col y ASPT.</i>	9
<i>Tabla 4. Tema y fechas de las capacitaciones.</i>	17
<i>Tabla 5. Coordenadas de los puntos de muestreo.</i>	18
<i>Tabla 6. Variables fisicoquímicas y métodos de medición.</i>	23
<i>Tabla 7. Índices de biodiversidad.</i>	44
<i>Tabla 8. Diferencia entre el total de organismos recolectados por caño 2021 y 2022.</i>	50



Ecuaciones

<i>Ecuación 1. Caudal.</i>	6
<i>Ecuación 2. Índice de Shannon-Weaver.</i>	9
<i>Ecuación 3. Índice de Simpson.</i>	10
<i>Ecuación 4. Índice de Margalef.</i>	10

Anexos

<i>Anexo 1. Fotografías generales de la zona de estudio.</i>	66
<i>Anexo 2. Tabla para el cálculo del índice BMWP/Col-ASPT.</i>	67
<i>Anexo 3. Abundancia de cada familia por estaciones de muestreo</i>	68
<i>Anexo 4. Listado de asistencia a capacitaciones.</i>	69
<i>Anexo 5. Abundancia total de Géneros.</i>	70
<i>Anexo 6. Géneros por estaciones de muestreo.</i>	71
<i>Anexo 7. Cambios en el comportamiento del caudal entre periodos.</i>	72



Resumen

El Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia (SPNN) con el propósito de investigar en zonas de amortiguación de áreas protegidas, creó el “Programa de monitoreo de la Reserva Nacional Natural Nukak”, donde se vinculan mediante el acuerdo de trabajo 20215050000821 con la Universidad El Bosque. El presente estudio fue llevado a cabo en el departamento del Guaviare, El Retorno, en tres Reservas Naturales de la Sociedad Civil con afluentes que tienen desembocadura en Caño Grande y tiene como objetivo determinar la calidad de agua por medio de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas. Este monitoreo fue realizado desde septiembre de 2022 a enero de 2023 en diez estaciones de muestreo, donde se implementaron métodos de captura como red D, red de pantalla y recolecta manual y fueron medidas las variables fisicoquímicas *in-situ* de temperatura, pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y conductividad, y *ex -situ* componentes del calcio y fósforo usando el fotómetro multiparámetro HI83099. Fue aplicada una prueba de análisis de varianza no paramétrica Kruskal-Wallis para fisicoquímicos y se calcularon índices de calidad de agua BMWP - ASPT e índices de diversidad alfa. Para identificar relaciones entre las variables, los caños y los macroinvertebrados acuáticos se realizó un CCA. Se obtuvo un total de 830 organismos de los cuales la familia más representativa fue Palaemonidae (19.28%). El índice BMWP-ASPT arrojó una calidad de agua “dudosa o moderadamente contaminada” para la mayoría de las estaciones. El orden Decapoda fue el más representativo con una alta abundancia durante el muestreo, debido a que son organismos indicadores de aguas con un elevado contenido de materia orgánica. Asociado se obtuvo que las variables de conductividad alcanzaron niveles entre (4-35 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y concentraciones de calcio $>1\text{mg}/\text{L}$ que permitieron a los crustáceos un mayor endurecimiento del exoesqueleto, crecimiento y proliferación.

Palabras clave: Macroinvertebrados Acuáticos, Parámetros Fisicoquímicos, Calidad Biológica del Agua, BMWP/Col, Palaemonidae.



Abstract

The Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia (SPNN) with the purpose of researching in the protected areas buffer zones, created the "Monitoring Program of the Nukak National Natural Reserve", where they are linked through the work agreement 20215050000821 with the El Bosque University. This study was carried out in the department of Guaviare, El Retorno, in three Natural Reserves of the Civil Society with affluents that flow into Caño Grande and its objective is to determine water quality by means of aquatic macroinvertebrates and their relationship with physicochemical variables. This monitoring was conducted from September 2022 to January 2023 at ten sampling stations, where capture methods such as D-net, screen-net and manual collection were implemented and *in-situ* physicochemical variables of temperature, pH, dissolved oxygen, oxygen saturation and conductivity, and *ex-situ* calcium and phosphorus components were measured using the multiparameter photometer HI83099. It was applied a non-parametric Kruskal-Wallis analysis of variance test for physicochemicals and calculated water quality indices BMWP - ASPT and alpha diversity indices. To identify relationships between variables, streams and aquatic macroinvertebrates, a CCA was performed. A total of 830 organisms were obtained, of which the most representative family was Palaemonidae (19.28%). The BMWP-ASPT index showed "questionable or moderately contaminated" water quality for most of the stations. The Decapoda order was the most representative with a high abundance during the study, due to the fact that they are indicator organisms of waters with a high content of organic matter. Associated with this, the conductivity variables reached levels between (4-35 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and calcium concentrations $>1\text{mg}/\text{L}$, which allowed the crustaceans a greater hardening of the exoskeleton, growth and proliferation.

Key words: Aquatic Macroinvertebrates, Physicochemical Parameters, Biological Water Quality, BMWP/Col, Palaemonidae.



1. Introducción

Durante las últimas décadas el monitoreo del recurso hídrico e hidrobiológico en Colombia ha tomado gran interés por su importancia para los ecosistemas y el ser humano, que ha originado la gestión integral del Recurso hídrico (GIRH) y permitido el desarrollo e implementación de políticas públicas mediante la combinación del desarrollo económico, social y ecológico que ha dado lugar a la generación de métodos que proporcionan conocimiento, información del estado y la dinámica del recurso hídrico (Colombia & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Por lo tanto, un tipo de monitoreo es la evaluación de la calidad de agua biológica, se lleva a cabo mediante el estudio del ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos, y su importancia radica en que pasan etapas del ciclo de vida en hábitats acuáticos, por lo cual reflejan la dinámica en las condiciones físicoquímicas y medioambientales a partir de la presencia o ausencia de familias indicadoras, asociándolas a una sensibilidad y tolerancia de los organismos que pueden ser usados para evaluar el estado de un sistema lótico o léntico en un momento específico (Buenaño et al., 2018; Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008).

La cuenca de Caño Grande se compone por un amplio sistema de ríos, caños y quebradas que se localizan en el departamento del Guaviare en los municipios de El Retorno, San José del Guaviare y Calamar abarcando un área total de 209.354 hectáreas que desemboca en el Río Inírida, siendo una gran influencia para la Reserva Nacional Natural Nukak. Debido a su amplia extensión la cuenca de Caño Grande es importante al ser fuente abastecedora del acueducto del municipio de El Retorno, usada para el consumo humano, pesca, uso agropecuario y vía para el transporte fluvial (Colombia & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), por ese motivo se han realizado evaluaciones de calidad del agua, en las cuales se encontró que hay deterioro en la calidad por vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo, actividades ganaderas y agropecuarias, resaltando que las



condiciones físicoquímicas eran buenas en la cuenca alta, mientras que se iba deteriorando a medida que se descendía ([Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico, 2012](#)). Por lo tanto, es importante el cuidado y preservación de zonas de amortiguación de importancia ecológica y ecosistémica para la conservación mediante la implementación de diversos planes, proyectos, políticas públicas y de manejo por parte de órganos del gobierno con autoridad en el área protegidas.

Una de ellas es el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) es un conjunto de actores sociales e institucionales que implementan estrategias e instrumentos de gestión que contribuyen al cumplimiento de los objetivos de conservación del país, por medio de los subsistemas regionales de áreas protegidas como el Caribe, Pacífico, los Andes occidentales, los Andes nor-orientales, la Orinoquía y la Amazonía colombiana y a su vez existen subsistemas que se encargan de particularidades temáticas como el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia (SPNN) que se vinculan con las autoridades ambientales, institutos de investigación, actores sociales, entes territoriales y sectores productivos con el fin de lograr la mejor planificación y gestión de las áreas protegidas ([Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2021](#)).

Actualmente por parte del SPNN, se proponen proyectos con el propósito de fomentar la investigación en las zonas de amortiguación e influencia de las áreas protegidas por lo que se genera el “*Programa de monitoreo de la Reserva Nacional Natural Nukak*” que tiene objetivos de conservación, y establecieron diseños de monitoreo para el recurso hídrico e hidrobiológico en Caño Grande–Guaviare, con enfoques biológicos y físicoquímicos para valorar la calidad del agua en diferentes Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) localizadas en el municipio de El Retorno ([Reserva Nacional Natural Nukak, 2019](#)).



2. Marco de Referencia

Este apartado es una compilación de antecedentes, técnicas, conceptos e índices de calidad biológica del agua aplicados a estudios limnológicos.

2.1. Antecedentes

En el departamento del Guaviare se han realizado estudios limnológicos recientes que evaluaron la composición y estructura de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables físicoquímicas empleando índices biológicos de calidad y diversidad en donde determinaron la calidad del recurso ([Alonso Moreno et al., 2013](#); [Piñeros Garzón, 2019](#); [Moreno Mora & Rodríguez Viana, 2021](#) y [Tolosa Soler, 2022](#)).

Actualmente Parques Nacionales Naturales de Colombia cuenta con programas de Monitoreo de la Reserva Nacional Natural Nukak, el cual plantea proyectos a la cuenca de Caño Grande como una herramienta para la planificación y gestión de los recursos naturales que proveen servicios ecosistémicos procedentes de las RNSC y a partir de esto se publicó “Macroinvertebrados bentónicos en tres afluentes de Caño Grande en la zona de influencia de la Reserva Natural Nacional Nukak, Guaviare, Colombia Aporte a la calidad de agua y características físicoquímicas” ([Tolosa Soler et al., 2022](#)) en el libro Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era.

2.2. Parámetros físicoquímicos y medioambientales

Los parámetros físicoquímicos permiten conocer las propiedades físicas como temperatura, caudal y conductividad y químicas como lo son sólidos disueltos, pH, alcalinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno (*Tabla 1*), permitiendo una caracterización rápida del recurso hídrico.



Tabla 1. *Parámetros físicoquímico y sus unidades.*

Variables Físicoquímicas	
	<i>Unidades</i>
pH	
Oxígeno Disuelto	mg/L
Temperatura	°C
Saturación de Oxígeno	%
Conductividad	µcm/s
Sólidos Disueltos	ppm
Alcalinidad	mg/L
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L
Fósforo Total (P)	mg/L
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	mg/L
Calcio Total (Ca ²⁺)	mg/L
Caudal	m ³ /s

**Elaboración Propia.*

2.2.1. *Oxígeno Disuelto (OD)*

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua es proveniente del aire y de las actividades metabólicas de los organismos que la habitan, esta variable se encuentra condicionada a la dinámica de temperatura, pluviosidad, fotosíntesis, drenajes, caudal y agitación del agua. Razones por las cuales la cantidad de oxígeno en el agua puede variar son el consumo de oxígeno libre debido a la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores ([Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008](#)).

2.2.2. *Temperatura*

La temperatura (°C) en aguas continentales del trópico está en un rango de 13 - 26°C conforme a la composición física de los ríos, además influye en otras variables como el oxígeno, saturación de oxígeno y conductividad ([Tolosa Soler, 2022](#)).



2.2.3. Conductividad

Medida que permite conocer la capacidad que posee el agua para transportar corriente eléctrica, está se relaciona con la concentración de sales-iones en disolución, la naturaleza geoquímica del terreno, las épocas del año y el estado trófico del afluente ([Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008](#)). Además, la conductividad se expresa según el Sistema Internacional de Unidades en Siemens por metro (S/m), pero se utiliza $\mu\text{S/cm}$ (*Tabla 1*) para una mayor simplicidad ([Solís-Castro et al., 2018](#)).

2.2.4. Sólidos Disueltos

En el agua hay presente material particulado como iones de minerales, metales y sales que se mantienen en suspensión en las corrientes superficiales, las concentraciones son muy variables y se ven influenciadas por varios factores como la naturaleza del terreno, contaminantes agregados y lluvias ([Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008](#)).

2.2.4.1. Fósforo (P) y fosfato (PO_4^{3-})

En los ecosistemas acuáticos, el fósforo (P) es un elemento de gran importancia debido a su papel en la productividad primaria y desde el área de la limnología, el fósforo soluble reactivo (FSR) como los fosfatos son los componentes mayormente consumidos, que al estar disponibles son asimilables por los organismos del medio acuático como plantas, algas y fitoplancton que les permite una mayor proliferación ([Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008](#)).

2.2.5. pH

El potencial de hidrogeniones (pH) indica las concentraciones de iones hidrógeno (H^+) e iones hidróxido (OH^-) en una solución, ello permite determinar los cambios de acidez o basicidad de una solución, un pH en medios tropicales y neotropicales oscila entre 6.0 – 9.0 aunque dependiendo de la



zona de estudio puede tener oscilaciones marcadas, por ejemplo en ecosistemas de alta montaña 6.5 – 7.5, páramos andinos 4.0 – 5.0, lagos y ciénagas posee rangos más amplios 5.0 – 9.0 (Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008).

2.2.6. Alcalinidad

La cantidad de carbonatos (CaCO_3) presentes en el agua actúan como soluciones amortiguadoras (Buffer) regulando en gran medida los cambios bruscos de acidez y basicidad que suele ser producto del metabolismo de algunas bacterias, algas y plantas (Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008).

Los carbonatos son iones disueltos en el agua, se relacionan con variables como el pH, dureza y la conductividad y el calcio (Ca^{2+}) es importante para el metabolismo de organismos con estructuras calcáreas como los crustáceos (Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008).

2.2.7. Caudal

La descarga o caudal es el total de agua de una corriente que pasa por un punto determinado en un periodo de tiempo definido, permitiendo establecer la cantidad de agua que pasa por un cierto tramo del caño. Se calcula con la siguiente formula:

$$D = A \times V$$

Ecuación 1. Caudal.

‡ D= Descarga o Caudal.

‡ V= Velocidad.

‡ A= Área de la sección transversal del río.



2.3. *Macroinvertebrados acuáticos*

Los macroinvertebrados son organismos que presentan una serie de adaptaciones estructurales y funcionales que les permiten sobrevivir en el medio acuático, algunas clases características son Turbellaria, Oligochaeta, Hirudinea, Insecta, Arachnida, Crustacea y Gastropoda, los cuales a partir de su presencia o ausencia revelan una relación con las variables medioambientales y por lo tanto una tolerancia o sensibilidad al medio acuático. Los organismos de la Clase Insecta son los más representativos y con mayor cantidad de estudios debido a que se caracterizan por atravesar una o todas las etapas de su ciclo de vida en el medio acuático, pasando por estadios de metamorfosis hasta llegar a su estadio adulto, siendo utilizados como bioindicadores de la calidad del agua, donde dependiendo del orden o familia pueden tener requerimientos medioambientales particulares (Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008).

2.3.1. *Índices Biológicos*

2.3.1.1. *Biological Monitoring Working Party - BMWP/Col*

El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) se estableció en 1970 en Inglaterra, es un método para evaluar la calidad del agua a partir de macroinvertebrados bioindicadores, por su facilidad de muestreo e identificación. Los organismos se deben clasificar hasta familia y tienen establecidos puntajes de (1) a (10); en donde, los puntaje altos son asociados a familias poco tolerantes a concentraciones elevadas de materia orgánica (*Tabla 2*), este índice tuvo una adaptación para Colombia, generando el BMWP/Col considerado como el primer método aceptado para evaluar los ecosistemas acuáticos del país (Roldán Pérez, 2003; Roldán-Pérez, 2016).



Tabla 2. Puntajes de BMWP/Col para las familias bioindicadoras.

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

**Roldán G., 2016, Modificado.*

2.3.1.2. Average Score per Taxon – ASPT

El puntaje promedio por taxon ASPT, es una estandarización del índice BMWP que tiene en cuenta la cantidad de familias que aparecen. El índice ASPT proporciona valores de (1) a (10), en los que valores inferiores (1-2) son asociados a una menor calidad biológica de agua mientras que puntajes más cercanos a (10) con agua muy limpias (*Tabla 3*), este se calcula a partir del valor de BMWP dividiéndolo por la cantidad de familias encontradas, lo que permite estandarizar los resultados entre 1-10 y tener en cuenta la cantidad de familias ([Arango et al., 2008](#)).



Tabla 3. Valores de los Índices BMWP/Col y ASPT.

Clase	Calidad	BMWP/COL	ASPT	Significado	Color
I	Buena	>150, 101-120	>9-10; >8-9	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas	Azul
II	Aceptable	61-100	>6,5-8	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	>4,5-6,5	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	>3- 4,5	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy Crítica	<15	1-3	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

*Fuente Arango et al., 2008, modificado.

2.4. Índices de diversidad

2.4.1. Shannon -Weaver

El índice de equidad es utilizado para cuantificar la biodiversidad específica a partir de una teoría de información como una medida de la entropía y refleja la heterogeneidad de una comunidad de organismos sobre la base de dos factores que son el número de especies (taxones) presentes y su abundancia relativa (Moreno, 2001; Pla, 2006). Además, expresa que valores superiores a (3) poseen una alta biodiversidad específica mientras que valores menores a (2) representan baja biodiversidad.

$$H = - \sum pi \times \log (pi)$$

Ecuación 2. Índice de Shannon-Weaver.

‡ i=Cada especie.

‡ s= Número total de especies.

‡ pi Abundancia relativa de especies.

2.4.2. Simpson

Los índices de dominancia son parámetros inversos al concepto de equidad, tiene en cuenta la representatividad de los taxones con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de



la comunidad, éste el índice expresa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie ([Moreno, 2001](#)), en donde al obtener valores cercanos a (0) tendrán mayor dominancia.

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Ecuación 3. Índice de Simpson.

‡ Pi = abundancia proporcional de la especie.

2.4.3. Margalef

Los índices de Riqueza específica permiten medir la biodiversidad basada en el total de especies (taxones) presentes, sin tener en cuenta la importancia; por lo cual, el índice de Margalef permite visualizar una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos ([Moreno, 2001](#); [Valdéz et al., 2018](#)). Valores superiores a (6) presentan una alta biodiversidad.

$$D_{mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Ecuación 4. Índice de Margalef.

‡ S = número de especies.

‡ N = número total de individuos.

2.5. Análisis de Correspondencia Canónica CCA

Es aplicado a estudios que involucran datos de parámetros físicoquímicos/medioambientales, abundancias de organismos y estaciones de muestreo permiten realizar correlaciones entre las variables, como en el caso de investigaciones que involucran monitoreos del ensamblaje de macroinvertebrados. Cuantificar la validez de las relaciones por medio de combinaciones lineales y una diagramación de la mejor correlación entre las variables ([Badii et al., 2007](#)).



2.6. Marco legal

Este estudio se enmarca en la gestión integral del recurso hídrico GIRH, el cual promueve la gestión y el aprovechamiento de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados sin comprometer los ecosistemas ([Colombia & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010](#)).

A continuación, se presentan unas de las principales normativas del recurso hídrico que se relacionan en gran medida con el proyecto “Monitoreo del recurso hídrico e hidrobiológico de las zonas de amortiguación de áreas protegidas territorial Amazonia” de ([Reserva Nacional Natural Nukak, 2019](#)).

2.6.1. ([Decreto 2811, 1974](#))

“Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.

Procura a la preservación y manejo de los recursos naturales renovables que son de utilidad pública e interés social (Decreto 2811, 1974, art. 1).se rige en todo el territorio Nacional en donde el país ejerza jurisprudencia (Decreto 2811, 1974, art. 5).

2.6.2. ([Decreto 1729, 2002](#))

“Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones”.

Establece aspectos que se deben incluir en el plan de ordenación y manejo de la cuenca como: diagnóstico de la cuenca hidrográfica, escenarios de ordenación, manejo y administración de la cuenca hidrográfica, criterios de sostenibilidad, uso de los recursos naturales renovables, estrategias para el plan de desarrollo e instrumentos de seguimiento como indicadores ambientales y de gestión(Decreto 1729, 2002, art. 16).



2.6.3. (Decreto 1376, 2013)

"Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial".

El presente se aplicará a las actividades de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial (Decreto 1376, 2013, art. 2).

2.6.4. (Decreto 1076, 2015)

"Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible".

Establece las funciones de Parques Nacionales Naturales de Colombia, como instrumentos de planificación, programas y proyectos que permite una reglamentación del uso y funcionamiento de las áreas protegidas junto al Sistema de Parques Nacionales Naturales SPNN (Decreto 1076, 2015, art. 1.1.2.1). Establece que los estudios ambientales que son objeto de evaluación y verificación por parte de las autoridades ambientales (Decreto 1076, 2015, art. 2.2.2.3.3.1). Expone criterios para la preservación de la calidad admisible de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas (Decreto 1076, 2015, art. 2.2.3.3.9.10).



3. Pregunta de Investigación

¿Cómo es la calidad biológica del agua a partir del ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas en tres afluentes de la zona de amortiguación de la RNN Nukak?



4. Justificación

El departamento del Guaviare cuenta con un alto contenido del recurso hídrico y presenta dos grandes vertientes hidrográficas de gran importancia que son la cuenca del Río Orinoco y cuenca del Río Amazonas, que se relacionan con los principales ríos como El Guaviare, Guayabero e Inírida y a sus afluentes como Caño Aceite, La Tigrera y Caño Grande; éste último, siendo un recurso de alta importancia para la población del municipio El Retorno, debido a sus usos como fuente abastecedora ([Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico, 2012](#); [USAID, 2022](#)).

El Departamento del Guaviare se destaca por contar con actores sociales e institucionales que implementan estrategias para la conservación y preservación de los recursos naturales en zonas protegidas, ligado al SINAP y al SPNN que permiten el desarrollo de proyectos como “*Programa de monitoreo de la Reserva Nacional Natural Nukak*” de 2019 en el cual se plantean monitoreos del recurso hídrico de Caño Grande por medio de dos enfoques, el biológico y físicoquímico ([Reserva Nacional Natural Nukak, 2019](#)).

El monitoreo del recurso hídrico puede realizarse a partir de varios métodos estandarizados y de fácil acceso que permiten conocer el estado del afluente en un momento y tiempo determinado, el principal es por medio de macroinvertebrados acuáticos, considerados bioindicadores de la calidad del agua por el conocido ciclo de vida, la tolerancia o sensibilidad que poseen a los cambios en las variables físicoquímicas y medioambientales, lo que permite la aplicación de índices biológicos como *Biological Monitoring Working Party* BMWP/Col y *Average Score per Taxon* ASPT ([Roldán Pérez, 2003](#); [Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008](#)).

Es importante continuar con el monitoreo realizado en el periodo del 2021-2 que permitió determinar el estado de calidad de agua para tres afluentes en Caño Grande. Para este periodo se implementaron nuevos métodos y se agregaron variables físicoquímicas que permiten visualizar a la relación que puede



existir entre el ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos con los parámetros fisicoquímicos y conocer la calidad del agua en el periodo 2022-2 de los afluentes que desembocan en Caño Grande-Guaviare y que influyen en una zona de importancia para la conservación como la Reserva Nacional Natural Nukak.



5. *Objetivos*

5.1. *General*

Evaluar la calidad de agua a partir del ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas en tres afluentes de Caño Grande, El Retorno, Guaviare Colombia.

5.2. *Específicos*

- ☞ Definir la calidad del agua a partir de los índices biológicos BMWP/Col y ASPT.
- ☞ Estimar índices de diversidad alfa para las estaciones de monitoreo.
- ☞ Relacionar el ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos con las variables fisicoquímicas.



6. Método

Este proyecto se desarrolló a partir de la mitad del año 2022 en el mes de junio, donde fueron realizadas cinco salidas de campo desde septiembre del 2022 a enero del 2023, en tres RNSC ubicadas en la zona de influencia de la RNN Nukak y con afluentes que desembocan en Caño Grande. En las RNSC se realizaron monitoreos con ayuda de los funcionarios de Parques Nacionales Naturales de Colombia de macroinvertebrados acuáticos y variables físicoquímicas. Se establecieron 10 estaciones, 3 estaciones para caño Lavapatás – RNSC La Fortuna, 3 estaciones en caño Palogrueso - RNSC Las Violetas y 4 estaciones en caño Choapo - RNSC La Siberia.

6.1. Capacitaciones

Se realizaron capacitaciones a los funcionarios de Parques Nacionales Naturales de Colombia durante los meses de junio y julio del 2022 (*Tabla 4*) proporcionando los conocimientos básicos para realizar tomas de parámetros físicoquímicos y muestreos de macroinvertebrados acuáticos a partir de los métodos recolecta manual, red de Pantalla y red D, además, fueron suministrados todos los materiales e implementos necesarios para la preservación de los organismos, el procesamiento de las muestras biológicas y el embalaje de las muestras para el envío y transporte hasta el Laboratorio de Investigaciones de Biología – INBIBO de la Universidad El Bosque.

Tabla 4. Tema y fechas de las capacitaciones.

Capacitación	Tema	Fecha
1	Uso de equipos físicoquímicos	30-jun-22
2	Manejo de colecciones	7-jul-22
3	Sistema de información de Biodiversidad SIB	14-jul-22
4	Toma de muestras de agua	21-jul-22
5	Encuentro y recolección de macroinvertebrados	22-jul-22
6	Limpieza, marcaje y embalaje de material	28-jul-22
7	Identificación de macroinvertebrados	29-jul-23

**Elaboración Propia.*



6.2. Área de estudio

La Cuenca media de Caño Grande, está ubicada mayormente en el municipio de El Retorno, donde se encuentran establecidos los puntos de muestreo. Las zonas fueron establecidas por Parques Nacionales Naturales en las siguientes reservas (*Tabla 5*): La RNSC La Fortuna con caño Lavapatatas, RNSC Las Violetas con caño Palogrueso y RNSC La Siberia con caño Choapo (*Figura 1*), todas se caracterizaron por presentar aguas de coloración entre el marrón-claro a ámbar levemente cristalinas, lechos arenos-arcillosos, una alta vegetación riparia circundante y presencia de actividades económicas como cultivos y ganadería.

Tabla 5. Coordenadas de los puntos de muestreo.

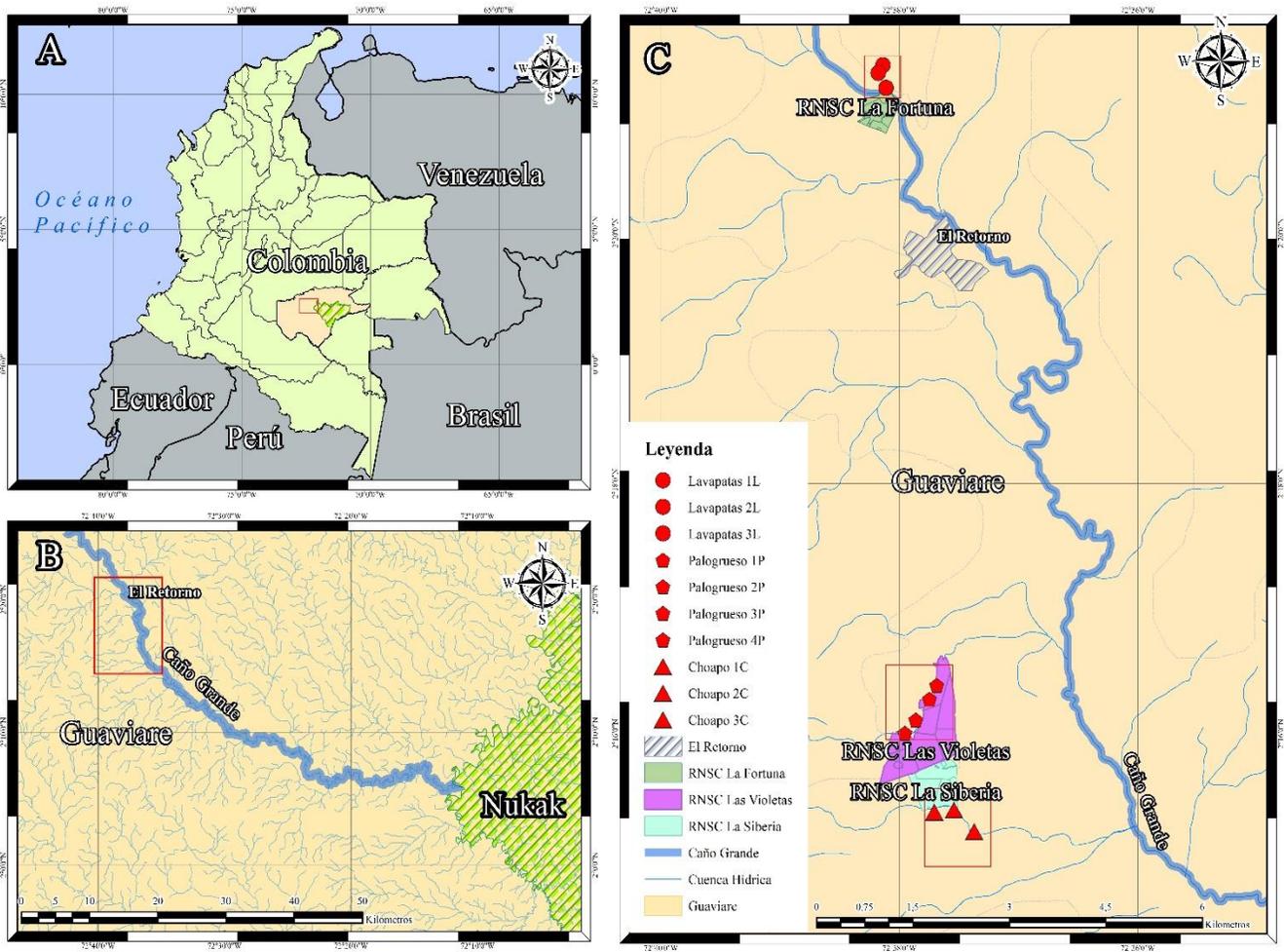
RNSC	Caño	Estaciones	Coordenadas Originales
La Fortuna	Lavapatatas	1L	02° 21' 20.45"N 72° 38' 8.27"W
		2L	02° 21' 16.74"N 72° 38' 10.68"W
		3L	02° 21' 9.54"N 72° 38' 6.72"W
Las Violetas	Palogrueso	1P	02° 16' 17.51"N 72° 37' 43.97"W
		2P	02° 16' 16.61"N 72° 37' 44.87"W
		3P	02° 16' 6.66"N 72° 37' 51.71"W
		4P	02° 16' 0.30"N 72° 37' 57.27"W
La Siberia	Choapo	1C	02° 15' 22.50"N 72° 37' 42.4"W
		2C	02° 15' 23.46"N 72° 37' 32.58"W
		3C	02° 15' 13.14"N 72° 37' 22.37" W

**La estación 1L fue agregada en el segundo monitoreo 2022-2.*

Estas zonas de muestreo fueron establecidas por los funcionarios de PNN durante el primer monitoreo del recurso hídrico en el periodo 2021-2 a partir de la aplicación del Índice de Quebrada (QBR) a diferentes Reservas Naturales de la Sociedad Civil, que consiste en evaluar aspectos generales de la zona ribereña como presencia de zonas inundables, el tamaño del cauce y la cubierta vegetal ([Tolosa Soler, 2022](#)).



Figura 1. Zona de estudio y estaciones de muestreo.



*A) Mapa general de Colombia, B) Departamento del Guaviare y Caño Grande que influye en la RNN Nukak, C) Ubicación de las Reservas Naturales de la Sociedad Civil en relación con Caño Grande. Elaboración Propia.

6.3. Estaciones de muestreo

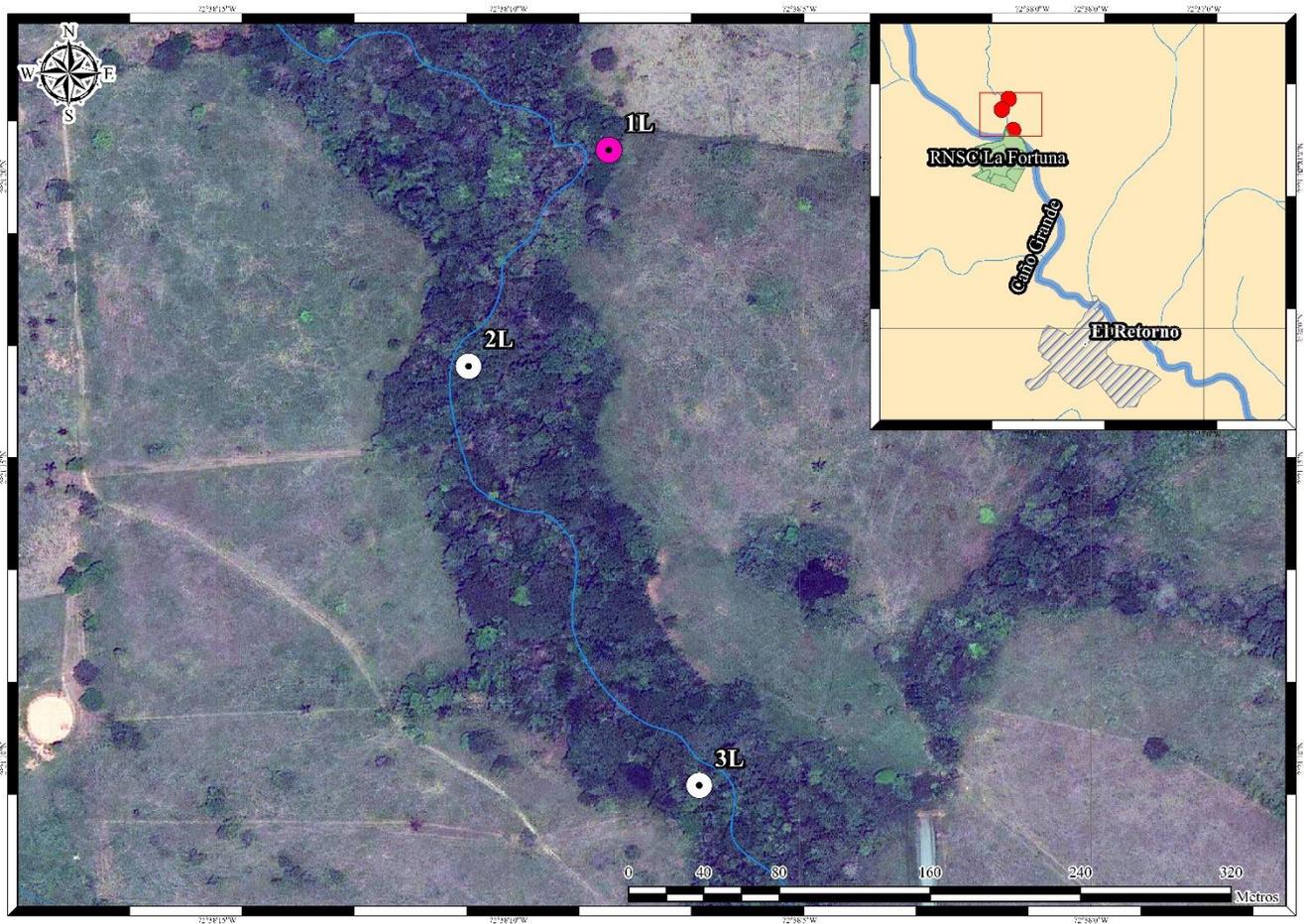
6.3.1. Reserva Natural de la Sociedad Civil La Fortuna

Esta zona de muestreo se encuentra ubicada en la cuenca alta del área de estudio a una distancia aproximada de 3.4 kilómetros del casco urbano del municipio El Retorno, está cuenta con el afluente



caño Lavapatas (*Figura 2*) en donde se establecieron tres estaciones de muestreo, estas presentaron sustratos arenosos- arcillosos con presencia de vegetación riparia y troncos caídos (*Anexo 1*).

Figura 2. Estaciones de muestreo RNSC La Fortuna – caño Lavapatas.



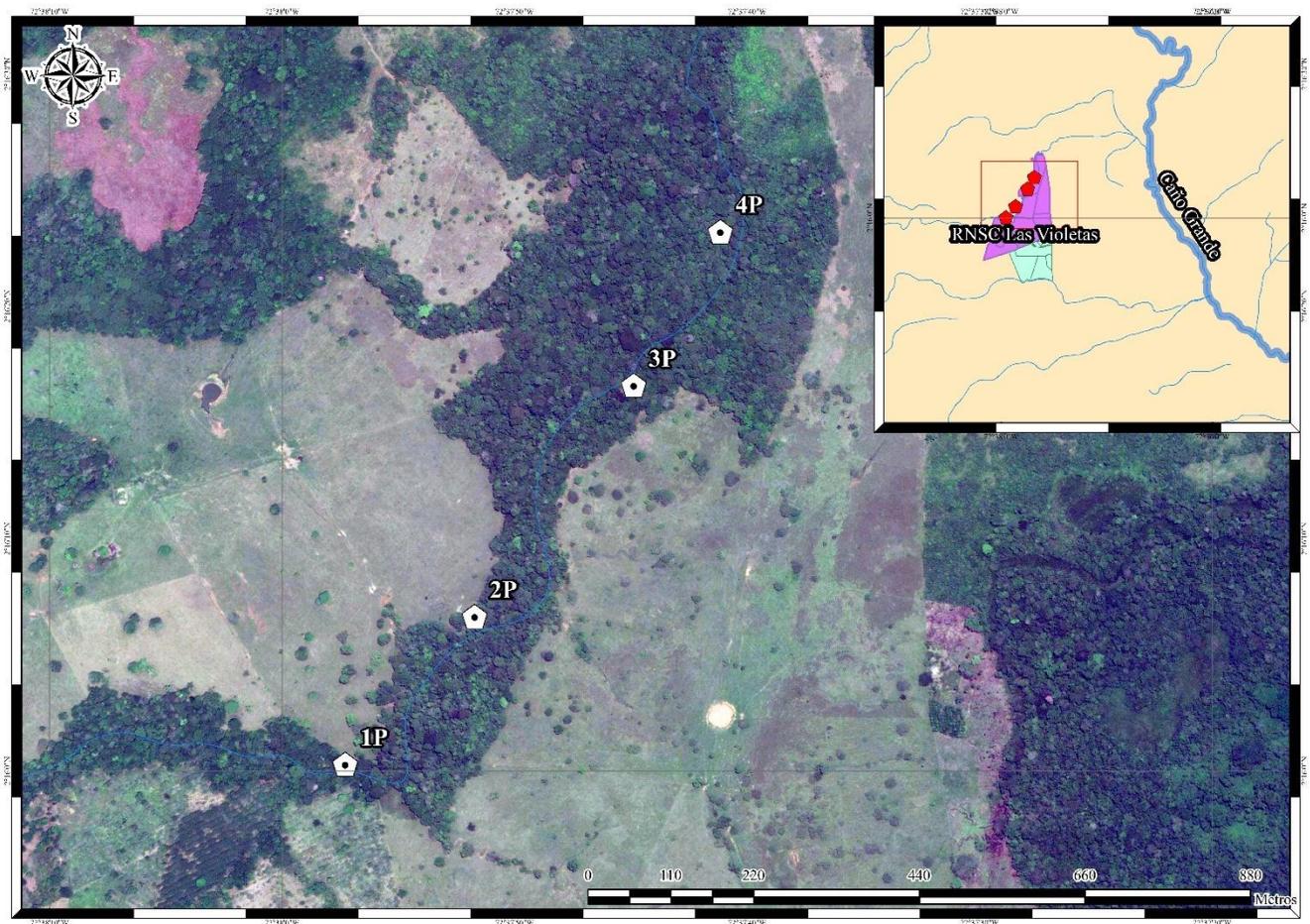
**Estación nueva 1L. Elaboración Propia.*



6.3.2. Reserva Natural de la Sociedad Civil Las Violetas

Se encuentra ubicada en la zona intermedia del área de estudio, localizada a 9.3 kilómetros al sur del casco urbano del municipio de El Retorno, esta cuenta con el afluente caño Palogrueso (*Figura 3*), en donde hay establecidas cuatro estaciones de muestreo, presentaba orillas con desniveles bruscos y profundidades desde los 0.5-1.3 metros (*Anexo 1*)

Figura 3. Estaciones de muestreo RNSC Las Violetas – caño Palogrueso.



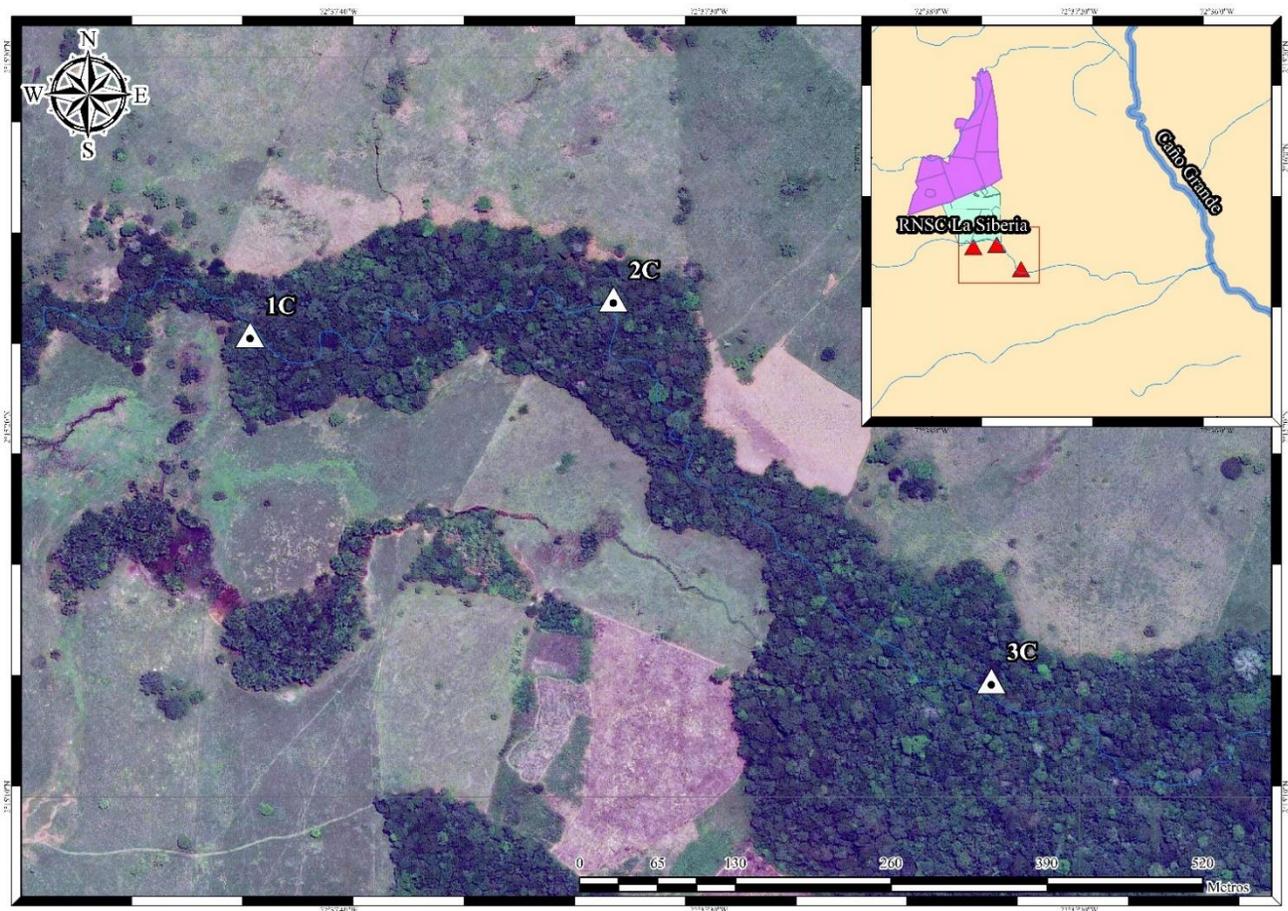
**Elaboración Propia.*



6.3.3. Reserva Natural de la Sociedad Civil La Siberia

Esta reserva cuenta con el afluente caño Choapo (*Figura 4*) y tiene establecidas tres estaciones de muestreo con características como bajas profundidades y sustrato arenoso-arcilloso (*Anexo 1*). Las RNSC La Siberia y Las Violetas son predios colindantes, sin embargo, los caños están alejados y la unión a Caño Grande esta distante.

Figura 4. Estaciones de muestreo RNSC La Siberia – caño Choapo.



**Elaboración Propia.*



6.4. Toma y procesamiento de parámetros físicoquímicos y medioambientales

Las variables físicoquímicas tomadas *in situ* fueron el oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno y temperatura que fueron medidas usando el equipo YSI 55, el pH fue tomado con un pH metro de referencia ATC, los sólidos disueltos y conductividad mediante el TDS&EC (*Tabla 6*).

Además, fue medida la velocidad de la corriente del agua, profundidad y ancho que permitieron calcular el caudal en cada zona de muestreo.

Tabla 6. Variables físicoquímicas y métodos de medición.

<i>In-situ</i>		<i>Ex-situ</i>	
Variables	Unidades	Variables	Unidades
pH			
Temperatura	°C	Alcalinidad	mg/L
Oxígeno Disuelto	mg/L	Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L
Porcentaje de Oxígeno	%	Fósforo Total (P)	mg/L
Conductividad	µm/cm	Carbonato de Calcio (CaCO ₃)	mg/L
Sólidos Disueltos	ppm	Calcio Total (Ca ²⁺)	mg/L
Caudal	m ³ /s		

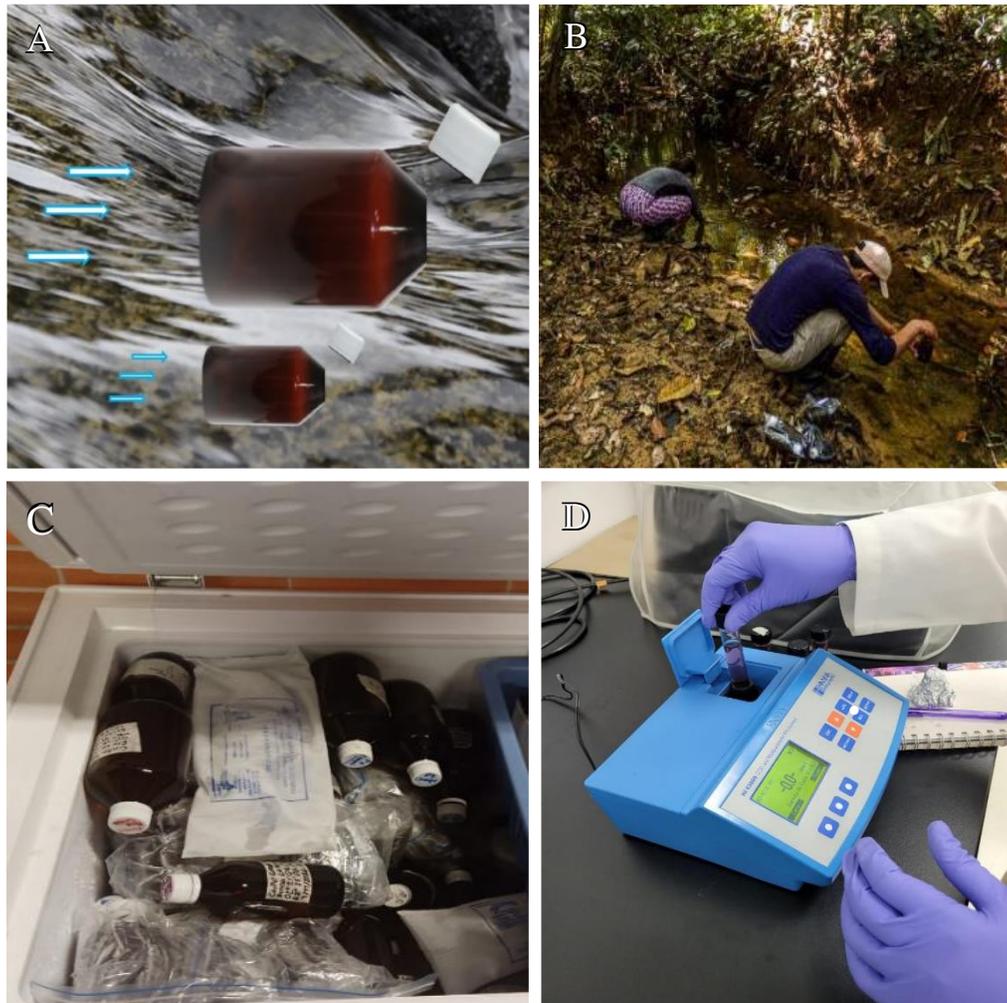
**Listado de las variables, el equipo de medición y unidades. Elaboración propia*

6.4.1. Toma de muestras de agua

Fueron tomadas muestras de agua en botellas de vidrio ámbar (*Figura 5*), procesadas siguiendo el método propuesto por [Nava Tovar \(2011\)](#), dispuestas en neveras refrigeradas y enviadas a Bogotá D.C, para el Laboratorio de Investigación de Biología INBIBO de la Universidad El Bosque, en donde fueron calculados componentes del calcio, fósforo y la alcalinidad (*Tabla 6*) mediante el equipo fotómetro multiparámetro de HANNA Instruments 83099 que midió calcio (Ca²⁺), fósforo (P), fosfatos (PO₄³⁻) y carbonato de calcio (CaCO₃).



Figura 5. Método para la toma y procesamiento de muestras de agua.



*A) Ejemplificación del llenado de botellas de vidrio ámbar en contra de la corriente. B) Pasantes de la Universidad El Bosque realizando la toma de muestras Fotografía de Federico Beltrán, C) muestras refrigeradas en el laboratorio, D) Equipo HI 83099. Elaboración Propia

6.5. Análisis de datos

6.5.1. Análisis de datos físicoquímicos

Para analizar diferencias significativas entre las variables físicoquímicas, fue aplicada una ANOVA no paramétrica de análisis de varianza Kruskal-Wallis, la cual permite corroborar la existencia de diferencias significativas entre variables, para comparar la diferencia de medias entre variables fue utilizada la prueba de Friedman, utilizado el software InfoStat.



6.5.2. Índices Biológicos

Para clasificar la calidad biológica de agua por estaciones de muestreo, se utilizaron los índices biológicos BMWP/Col y el ajuste ASPT teniendo en cuenta todas las familias, las bioindicadoras y no bioindicadoras (*Anexo 2*) y sus respectivas abundancias por cada una de las estaciones de muestreo (*Anexo 3*).

6.5.3. Índices de diversidad

Fueron calculados los índices de diversidad *alfa* de Shannon, Simpson y Margalef a partir de las abundancias totales de los macroinvertebrados por cada estación de muestreo, cabe aclarar que los organismos que no llegaron a género fueron catalogados en morfoespecie para la aplicación de los índices utilizando el programa Past (versión 1.57).

6.5.4. Análisis de Correspondencia Canónica CCA

Para determinar las relaciones entre las variables físicoquímicas y la abundancia de las familias de macroinvertebrados acuáticos en cada punto de muestreo, se realizó un análisis multivariado CCA, por medio de las abundancias y parámetros físicoquímicos por estaciones de muestreo. Posteriormente la información fue introducida en el software Rstudio.

6.6. Recolección y procesamiento de macroinvertebrados

6.6.1. Métodos de recolecta

El muestreo se llevó a cabo durante 30 minutos por estación y fue realizado mediante tres métodos, red de pantalla, red D y recolecta manual (*Figura 6*). Para recolectar organismos adheridos al bentos se usó la red de pantalla que fue colocada contra corriente para luego remover el sustrato, este método fue llevado a cabo de 5-6 minutos por estación.



Para atrapar organismos en zonas poco accesibles del afluente, se utilizó la red D, la cual permite una mayor libertad en el muestreo, además se estandarizó un tiempo de 10 minutos por estación. Finalmente, fue realizada una recolecta manual a partir de una búsqueda activa de organismos que se llevó a cabo inspeccionando lugares de interés como hojarasca, troncos caídos y rocas que se encontraran sumergidos en el agua, durante 15 minutos en cada estación de muestreo.

Figura 6. Métodos de muestreo.



**A) Red de pantalla, B) Red D, C) Recolecta manual. Fotografías Santiago Cano.*

6.6.2. Procesamiento de macroinvertebrados

El material biológico recolectado en las estaciones de muestreo fue limpiado y embalado en las oficinas de Parques Nacionales Naturales de Colombia ubicadas en San José del Guaviare, posteriormente fue enviado por medio de transporte terrestre a la Universidad El Bosque en Bogotá D.C.

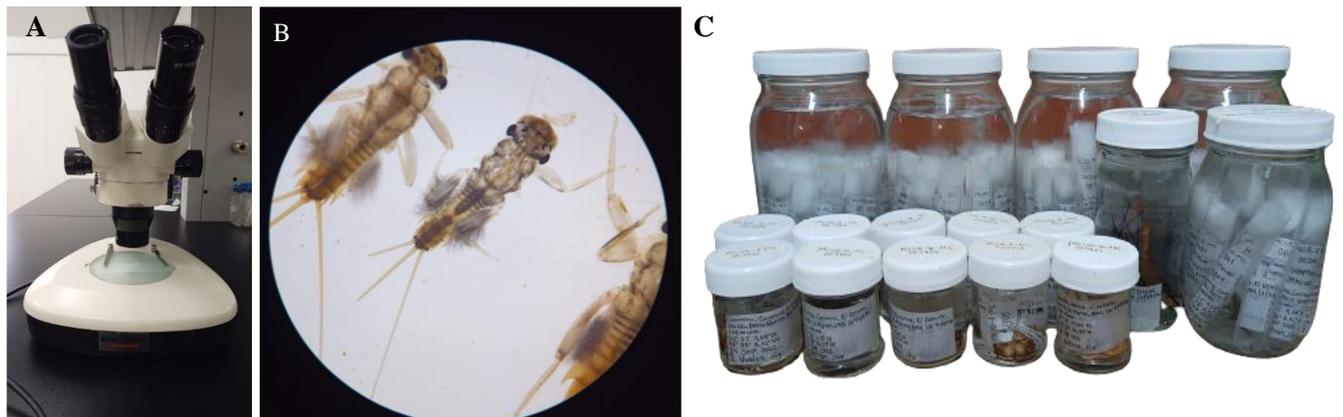
La identificación de los macroinvertebrados se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Biología (INBIBO) por medio de un microscopio avanzado con un lente auxiliar 2X el cual permite tener un área visual de 35mm de distancia (*Figura 7A*).



Las muestras se revisaron para una identificación taxonómica hasta el nivel taxonómico más bajo (*Figura 7 B*), utilizando claves y guías taxonómicas de identificación como:

“ An introduction to the aquatic insects of North América” ([Merritt et al., 1984](#)), “Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia” ([Roldán Pérez, 1998](#)) que permitió llegar hasta familia y publicaciones de tipo artículo científico como “ Thorp and Covich’s freshwater invertebrates” ([Hamada et al., 2019](#)) que permitieron llegar hasta género, posteriormente se realizó el etiquetado y disposición final en tubos y frascos de vidrio (*Figura 7C*), siguiendo las indicaciones del Manual de Colecciones del Museo de Ciencias de la Universidad El Bosque ([Caro Ávila, 2021](#)), para depositar los organismos en la colección de referencia de macroinvertebrados acuáticos continentales.

Figura 7. Identificación y procesamiento de macroinvertebrados.



**Fotografías de Luisa Tejada.*

Finalmente se diligenció la base de datos para el sistema de información sobre biodiversidad de Colombia (SiB) estandarizada por el Museo de Ciencias de la Universidad El Bosque MCUB, en la cual se colocan todos los datos de los registros biológicos, eventos de muestreo y un listado de especies/organismos encontrados los cuales son útiles para futuros artículos, de fines científicos y patrimonio de la nación.



7. Resultados

7.1. Capacitaciones

Las capacitaciones realizadas a los funcionarios de Parques Nacionales Naturales de Colombia se llevaron a cabo durante los meses de junio y julio del 2022 (*Tabla 4*) y permitieron que durante la ejecución del monitoreo, se recolectaran un total 830 individuos, mientras que para el primer monitoreo del 2021-2 fueron recolectados 412 individuos. La diferencia en abundancia de individuos recolectados entre los dos periodos de muestreo puede estar relacionada a la implementación del método de red de Pantalla y también a la experiencia de las personas que participaron en ambos monitoreos. Fueron un total de 220 horas de trabajo de recolecta (*Anexo 4*).

7.2. Parámetros físicoquímicos In-situ

Al aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, se encontraron diferencias significativas para todas las variables físicoquímicas con un $p \geq 0.05$ entre y los meses. Mediante la prueba de Friedman se corroboraron las diferencias entre medias de las variables oxígeno disuelto y temperatura, conductividad y pH.

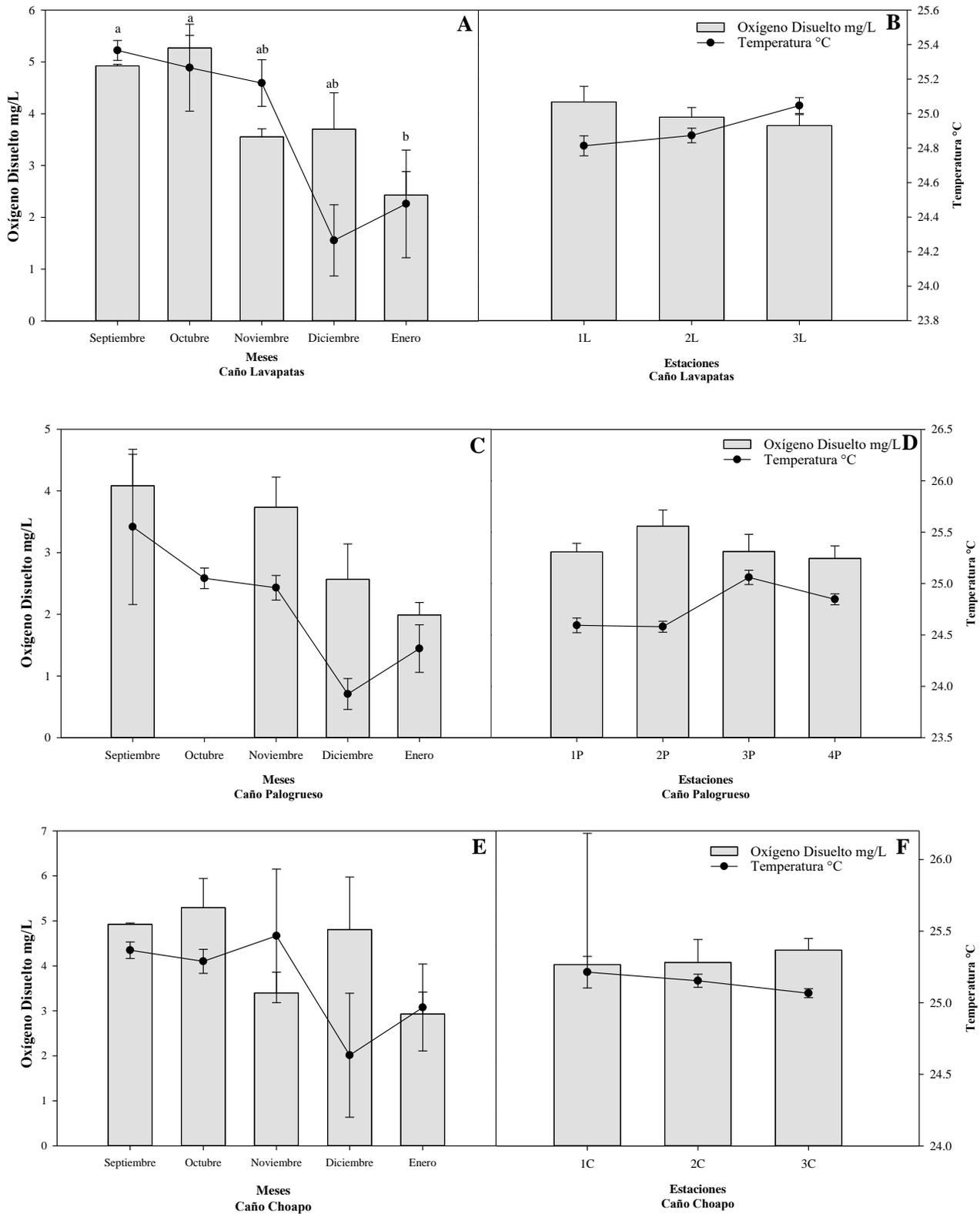
7.2.1. Relación entre oxígeno disuelto mg/L y temperatura °C.

La aplicación de la prueba de Friedman ($p \geq 0.05$) arrojó que caño Lavapatás fue la única zona que obtuvo diferencias significativas entre los meses (*Figura 8 A*), se destaca que para el mes de octubre presentó los niveles más altos de OD con 5.2mg/L y una temperatura de 25.36°C, mientras que el mes de enero marco valores de OD 2.42mg/L y temperatura de 24.47°C. Se resalta que 1L arrojó un mayor valor de OD y menor valor de temperatura, mientras que 3L obtuvo una relación inversa. (*Figura 8 B*)

Las zonas de muestreo en la RNSC Las Violetas y La Siberia no arrojaron diferencias significativas entre las medias por mes (*Figura 8 CE*) y entre estaciones.



Figura 8. Relación entre oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura (°C) en los tres caños de estudio.



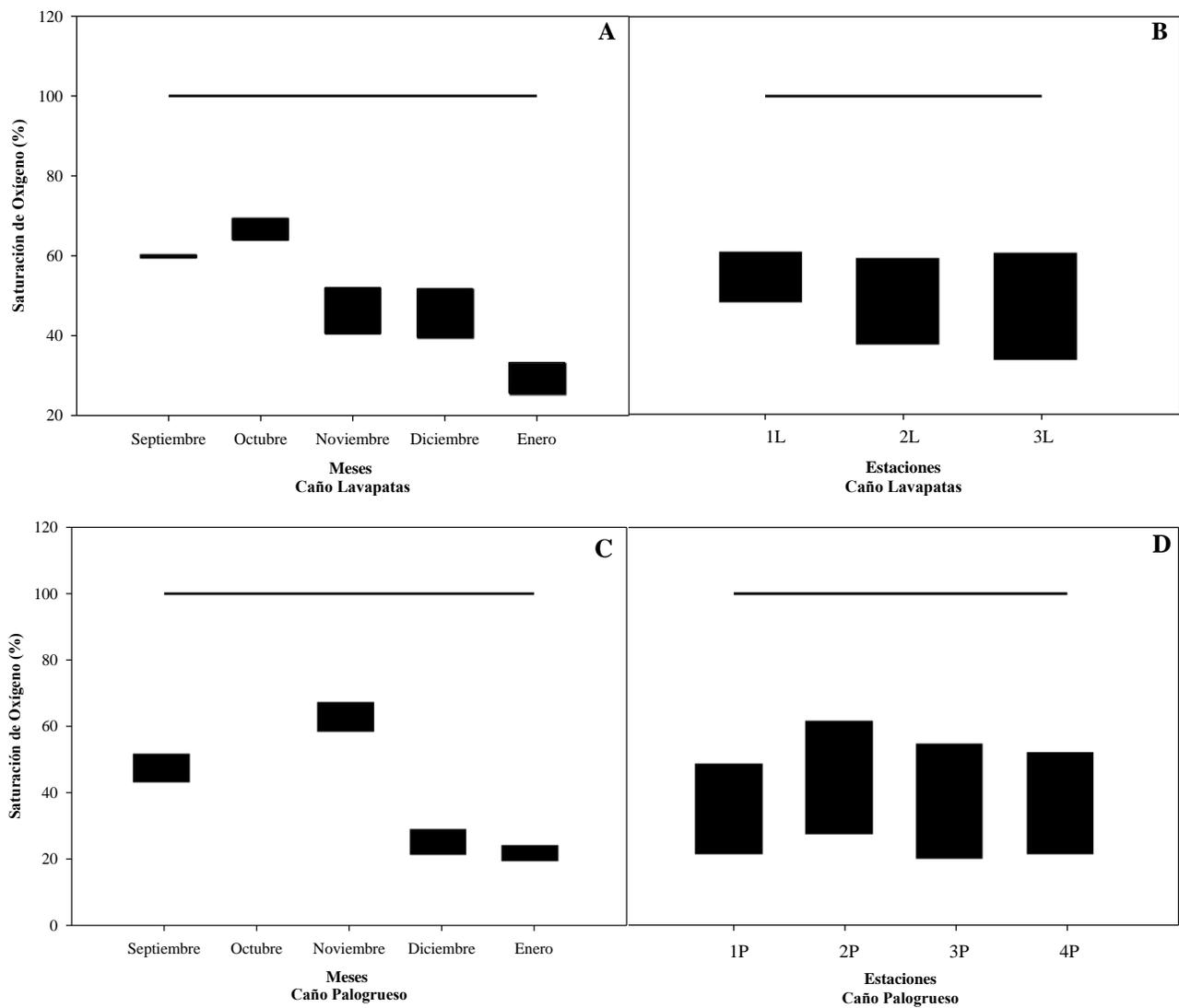
*Figuras AB caño Lavapatas; CD caño Palogrueso y EF caño Choapo.

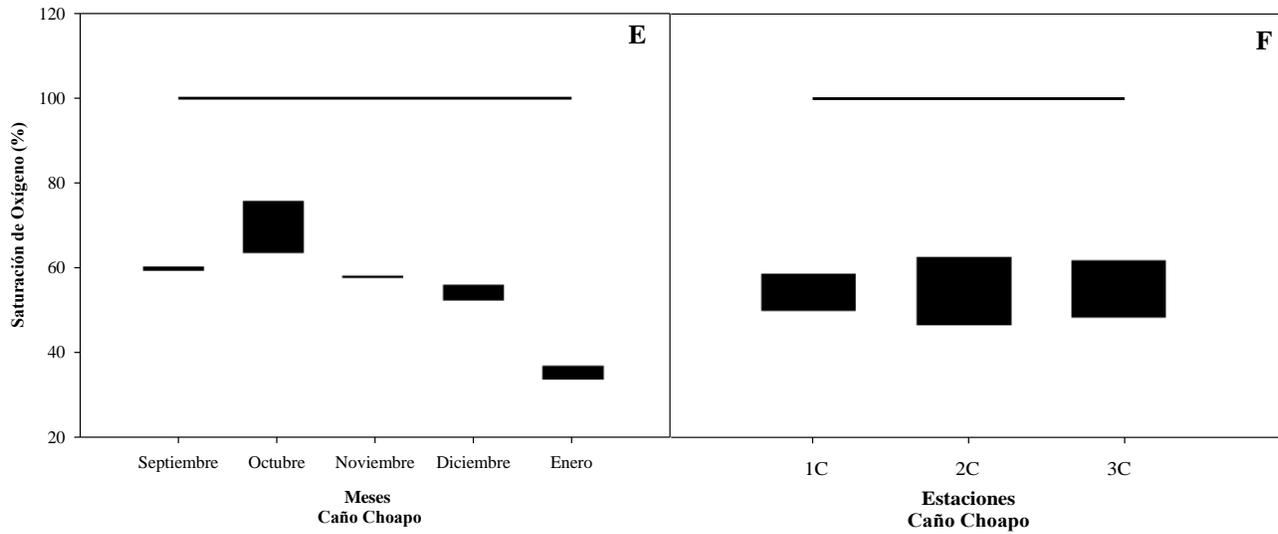


7.2.2. Saturación de oxígeno

La prueba Friedman $P \geq 0.05$ no arrojó diferencia de medias entre los meses de muestreo. El mes de octubre presentó un incremento en la saturación de oxígeno en caños Lavapatás y Choapo (*Figura 9AE*), mientras que el mes de enero obtuvo valores menores al 40% para todos los caños (*Figura 9ACE*). Se destaca que todas las estaciones de muestreo *Figura 9BDF* obtuvieron valores de porcentaje de saturación de oxígeno menores al 100%.

Figura 9. Saturación de oxígeno (%) para los tres caños de estudio.





*Figuras AB caño Lavapatatas; CD caño Palogrueso y EF caño Choapo.

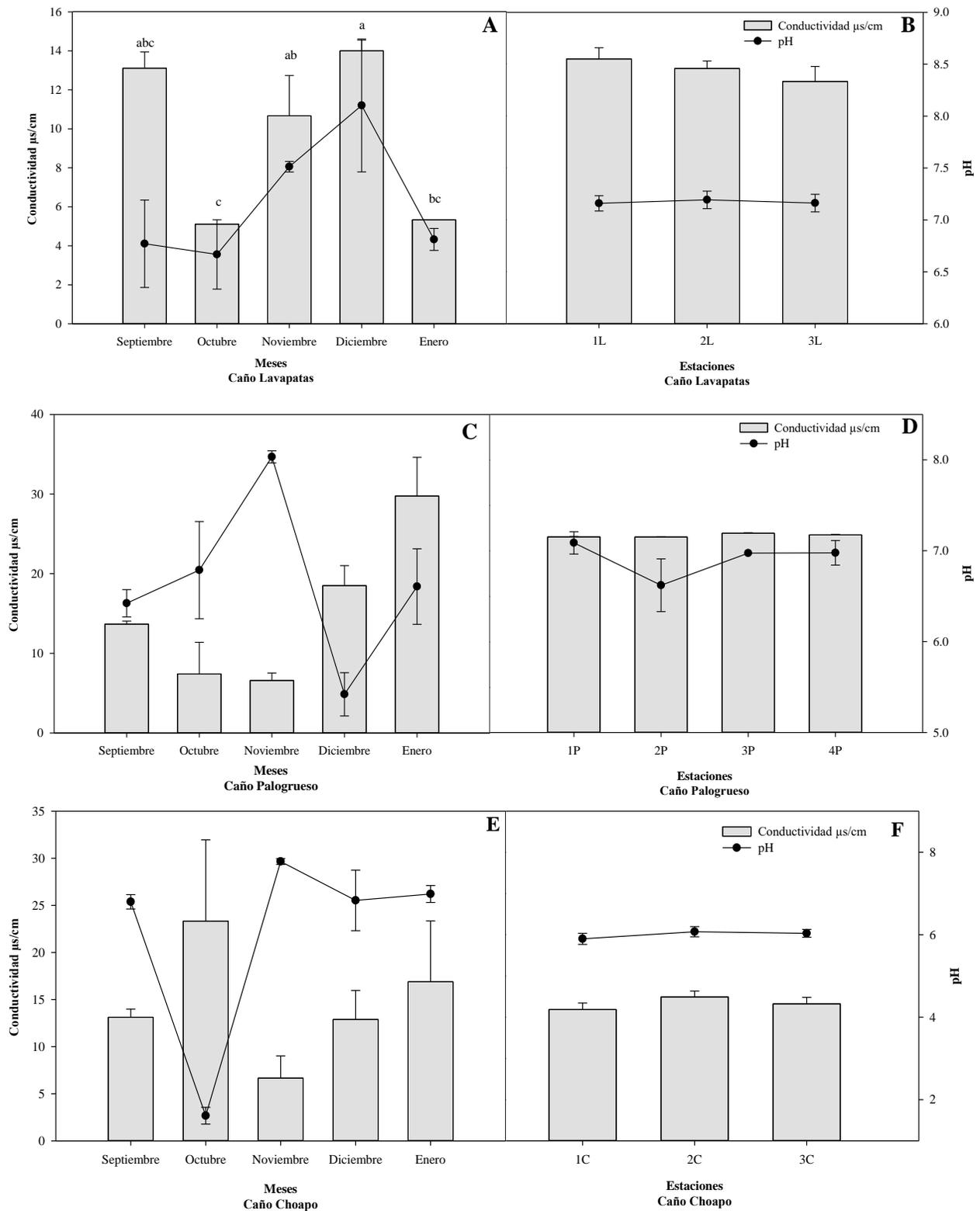
7.2.3. Relación entre la conductividad y pH

El afluente caño Lavapatatas presentó diferencias significativas de medias $p \geq 0.05$ (Figura 10 A), en donde se destaca el mes de diciembre. El caño Palogrueso obtuvo una conductividad mayor a $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ con un pH 6.5 en enero, mientras que para noviembre obtuvo una conductividad menor a $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ y pH 8 que es mucho más alcalino de lo normal (Figura 10 C), permitiendo relacionar que a medida que la conductividad incrementa, el pH disminuye y a medida que la conductividad disminuye el pH aumenta. Esta relación también se observa en caño Choapo (Figura 10 E), en donde el mes de octubre tuvo valores de pH muy bajos, llegando a medir 2, lo que se considera muy ácido, mientras que la conductividad obtuvo valores superiores a $25 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Para los gráficos de las estaciones de muestreo de los tres caños (Figura 10 BDF), no hubo diferencias significativas entre las medias, por lo tanto, se observa una trayectoria estable de la conductividad y el pH.



Figura 10. Relación entre conductividad($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH para los tres caños de estudio.



*Figuras AB caño Lavapatas; CD caño Palogrueso y EF caño Choapo.

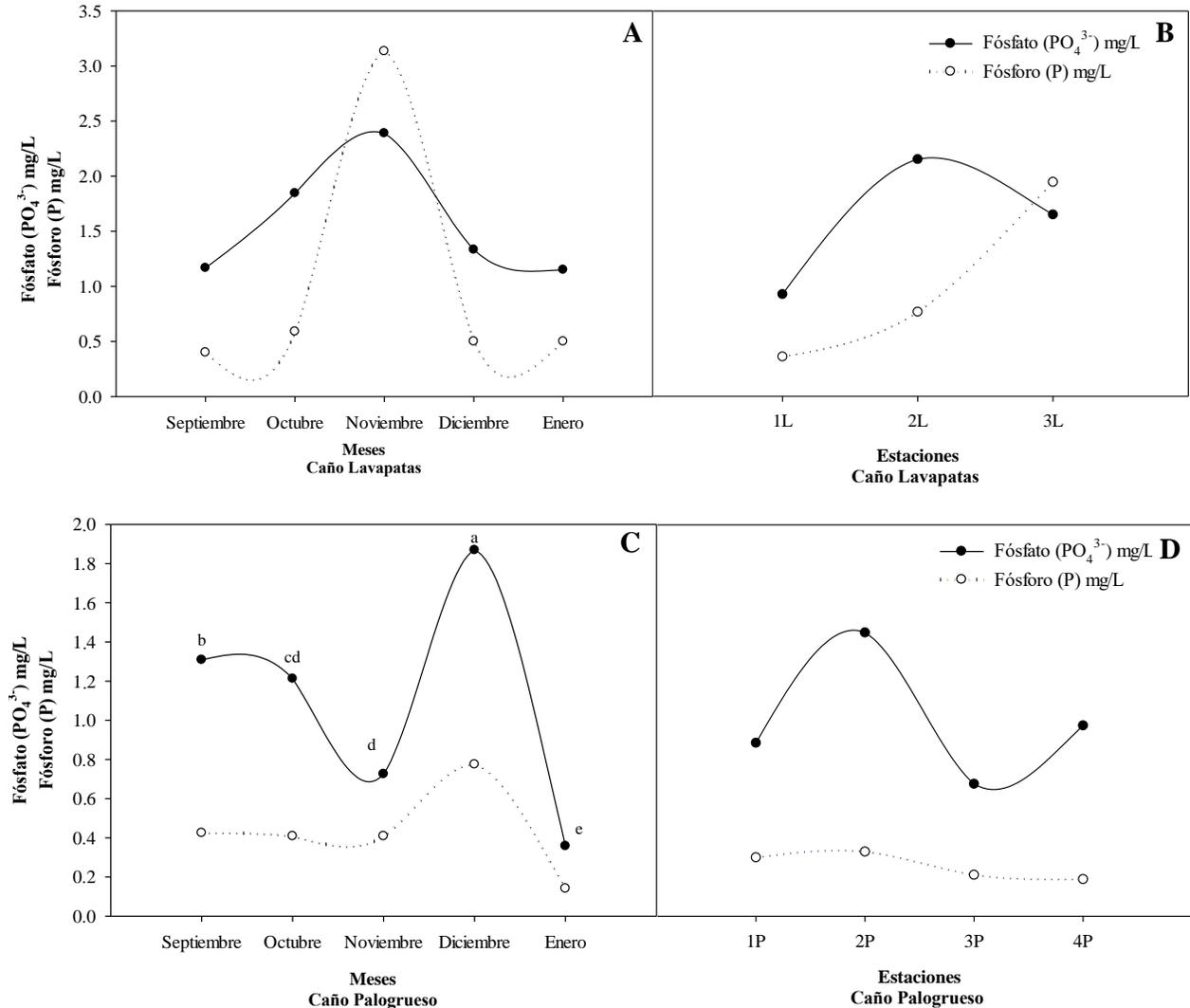


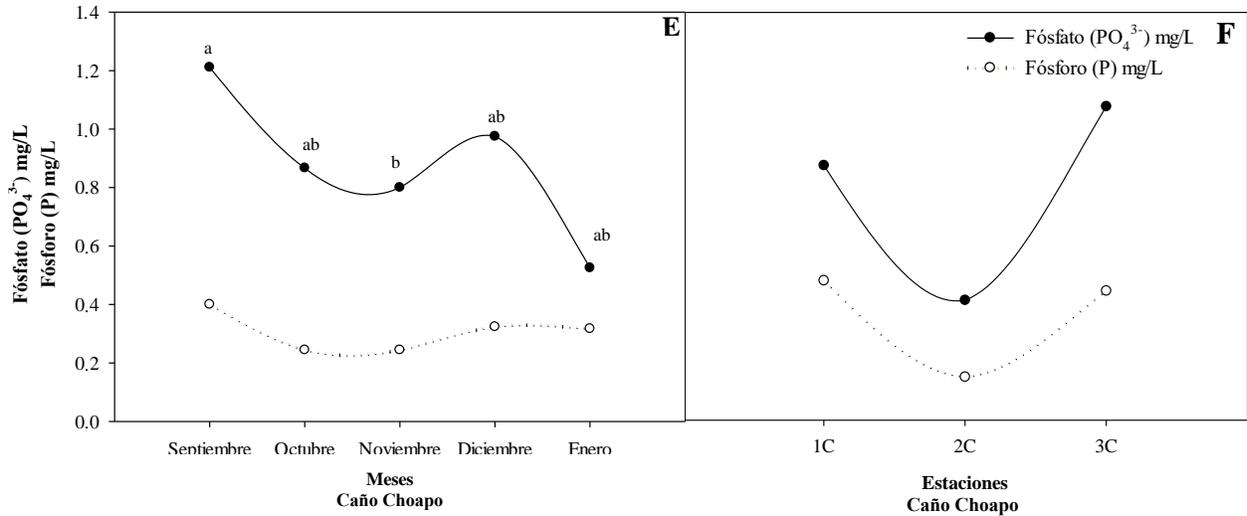
7.3. Parámetros físicoquímicos Ex – situ

7.3.1. Fósforo total (P) mg/L Vs fosfato (PO_4^{3-}) mg/L

Los caños Palogrueso y Choapo (*Figura 11 CE*) presentaron diferencias significativas $p \geq 0.05$ en las medias para el mes de diciembre con valores $>1\text{mg}$ de PO_4^{3-} , también se observa una tendencia durante las estaciones de muestreo (*Figura 11 BDF*) en donde $PO_4^{3-} > P$. Se resalta que en la mayoría de los meses, el fosfato (PO_4^{3-}) tuvo valores más altos que el fósforo total (P), excepto en noviembre para el caño Lavapatas (*Figura 11 A*), que obtuvo un incremento de fósforo (P) $>30\text{mg/L}$.

Figura 11 Relación entre el fósforo (P) y fosfato (PO_4^{3-}) para los tres caños de estudio.



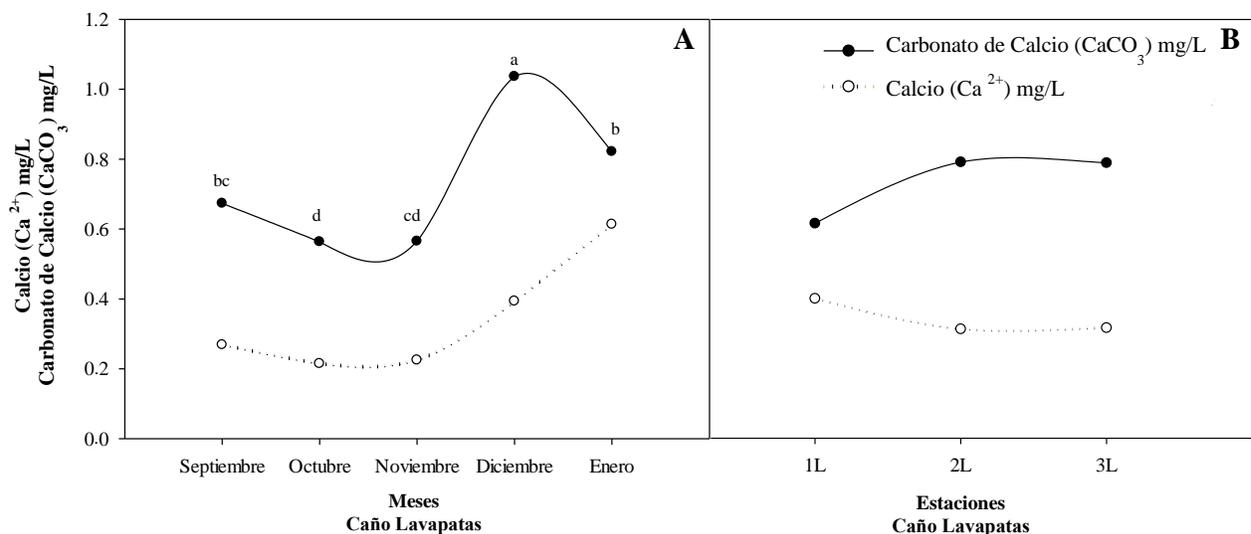


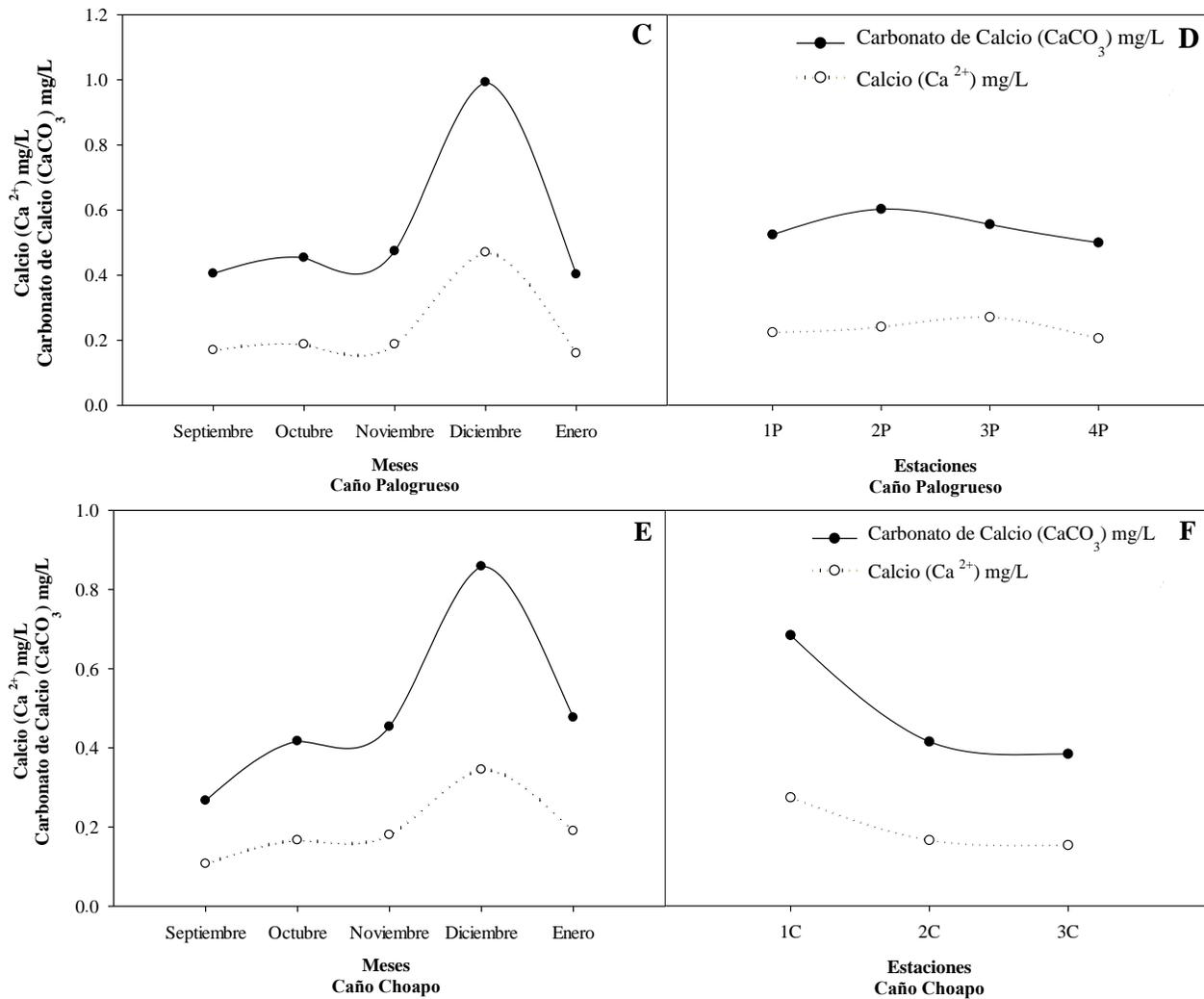
*Figuras AB caño Lavapatatas; CD caño Palogrueso y EF caño Choapo.

7.3.2. Calcio (Ca²⁺)mg/L Vs carbonato CaCO₃mg/L

Caño Lavapatatas presento diferencias significativas entre sus medias, donde los meses de octubre, diciembre y enero, evidenciaron valores inferiores a 1mg/L de CaCO₃ (Figura 12 A), mientras que diciembre obtuvo >1mg%l CaCO₃. Se evidencio una dinámica similar en caño Palogrueso y Choapo (Figura 12 CE). Las estaciones de muestreo Figura 12 BDF no presentaron diferencias entre sus medias y se apreció que el CaCO₃ > Ca²⁺.

Figura 12. Relación de calcio (Ca²⁺) y carbonato CaCO₃ para los tres caños de estudio.





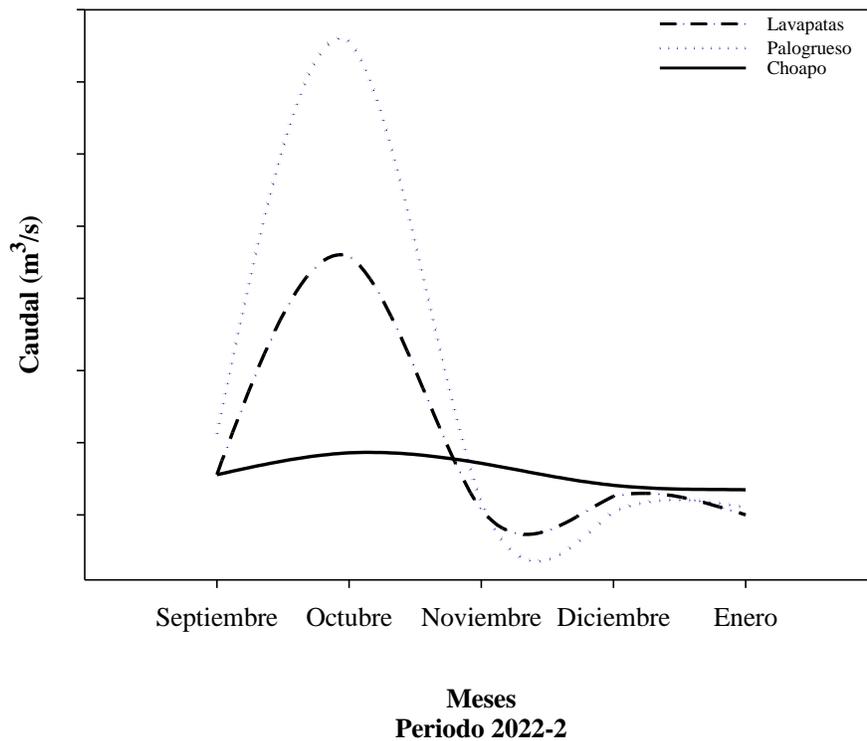
*Figuras AB caño Lavapatatas; CD caño Palogrueso y EF caño Choapo.

7.4. Comportamiento del caudal

En la *Figura 13* se puede observar el comportamiento del caudal para cada uno de los afluentes a lo largo de los meses, en donde se destaca el mes de octubre para caño Palogrueso y Lavapatatas presentando un caudal de (0.8-1.4 m³/s) que es significativamente mayor al mes de enero (0.2 m³/s), esto se relaciona a las época de lluvias, en donde hay un incremento leve en la velocidad y por lo tanto en la masa de agua que pasa por la zona. Por el contrario, se observó que caño Choapo obtuvo un el caudal lento en promedio (0.2 m³/s) para todos los meses.



Figura 13 Caudal para cada caño durante los meses de muestreo.



**Elaboración Propia.*

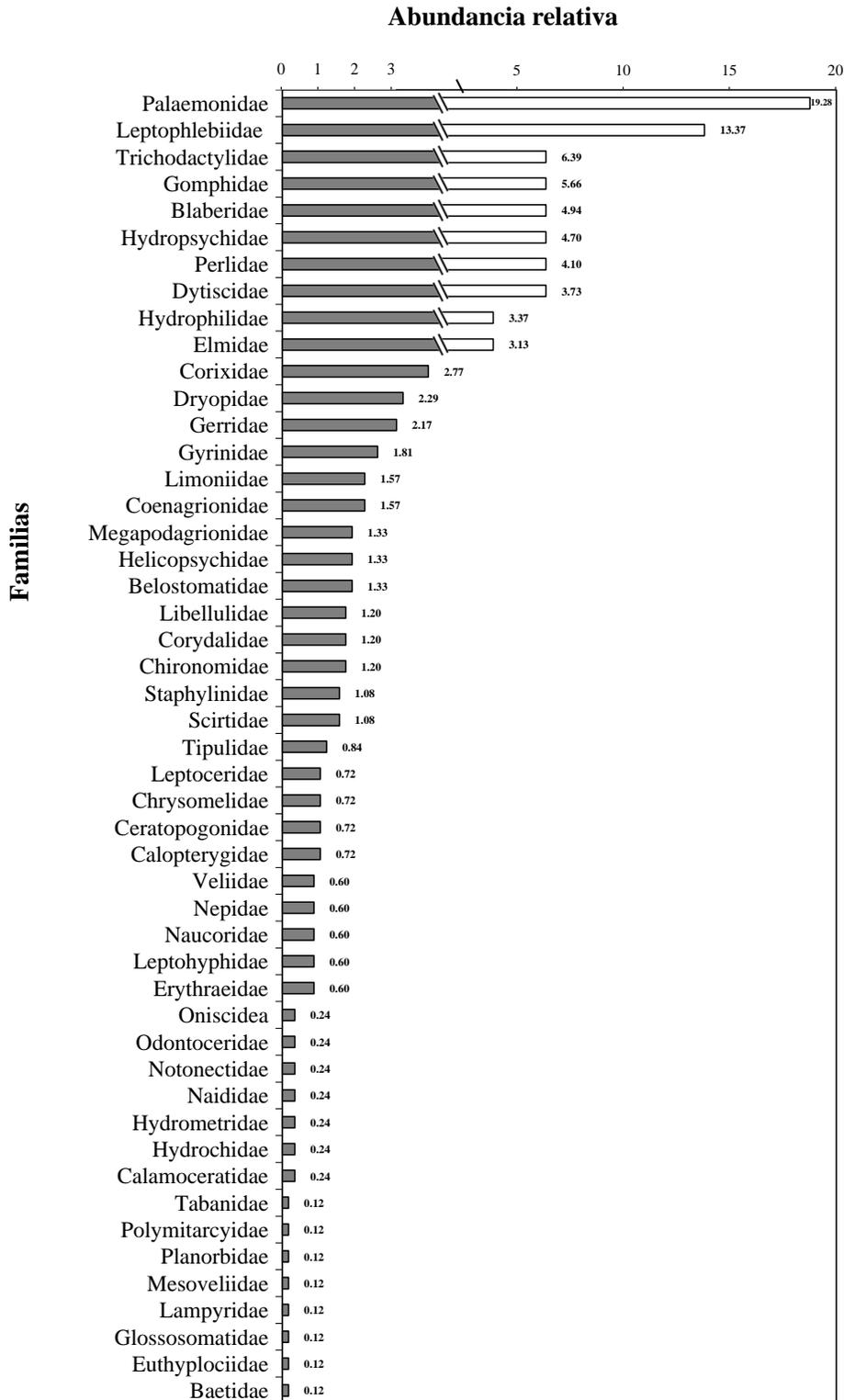
7.5. Macroinvertebrados

7.5.1. Abundancia relativa

Fueron recolectados un total de 830 individuos distribuidos en 5 clases, 13 órdenes, 49 familias y 43 Géneros (*Anexo 5*). Los órdenes con mayor abundancia relativa fueron Decapoda con 215 organismos (25.90%), Coleoptera con 146 individuos (17.59%) y Ephemeroptera con 119 organismos (14.33%). Concordando con lo anterior, las familias con mayor abundancia relativa fueron Palaemonidae con 160 individuos (19.28%), seguido por Leptophlebiidae con 111 individuos (13.37%) y Trichodactylidae con 53 individuos (6.39%) mientras que hubo 8 familias que presentaron un (0.96%) de la abundancia relativa total como Polymitarcyidae, Euthyplociidae y Lampyridae (*Figura 14*).



Figura 14. Abundancia relativa para todos los caños.



*Elaboración Propia



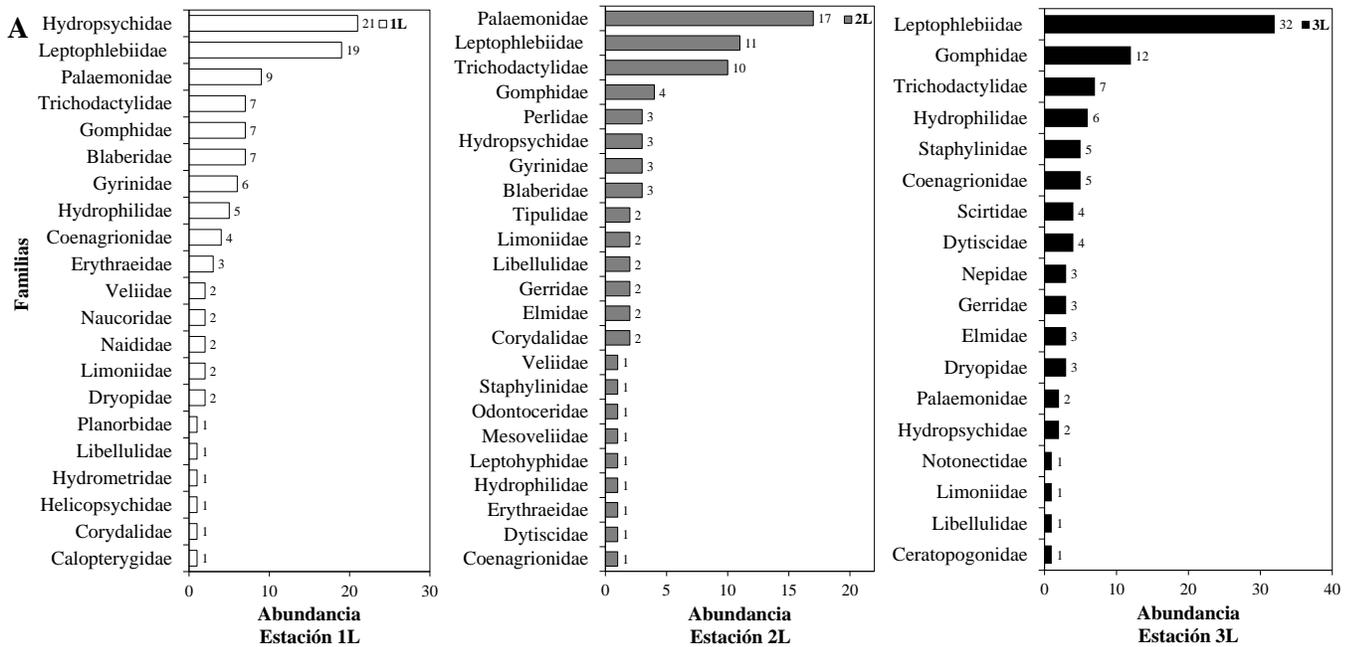
7.5.2. Abundancia relativa por estaciones y zona de muestreo

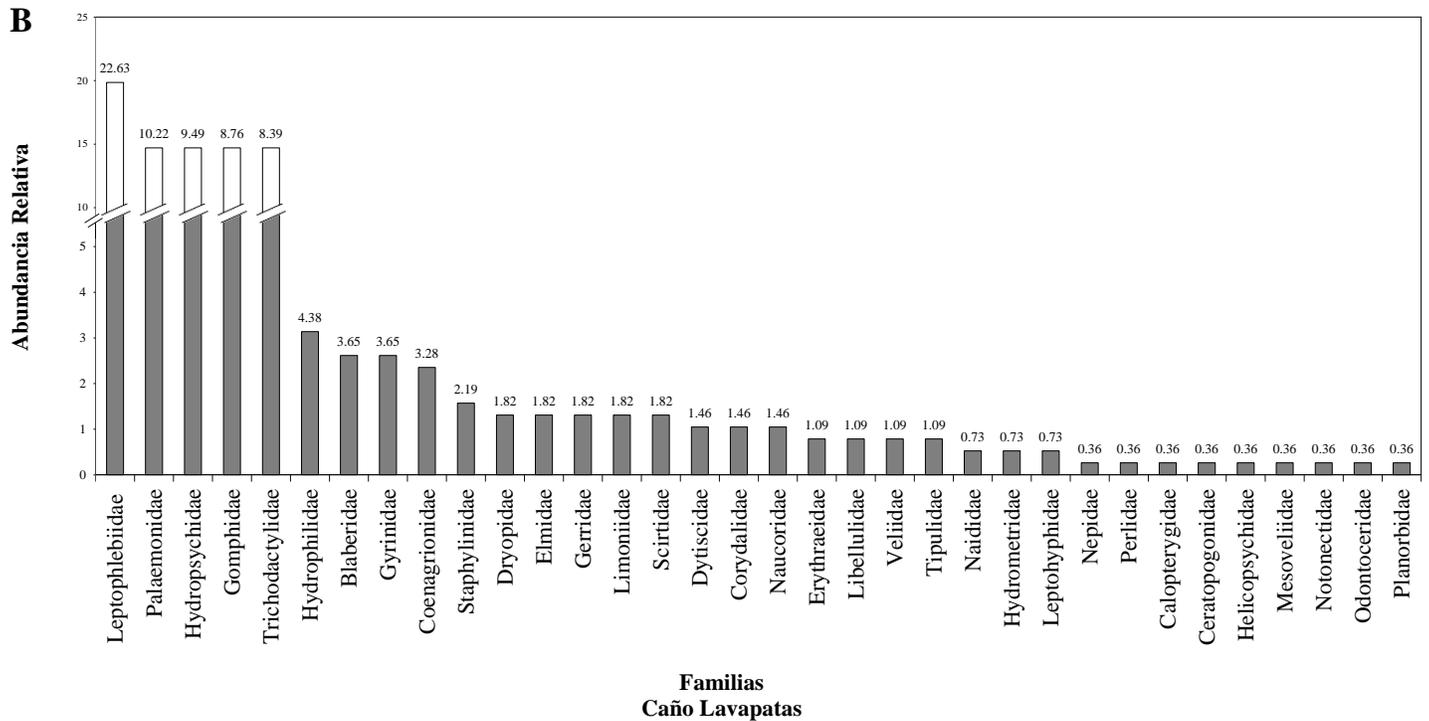
7.5.2.1. RNSC La Fortuna caño Lavapatas

Agua arriba de la zona de estudio: las estaciones de muestreo de caño Lavapatas (*Figura 2*) obtuvieron un total de 274 organismos distribuidos en 13 Órdenes, 34 Familias y 28 Géneros (*Anexo 6*), los órdenes con mayor abundancia fueron Ephemeroptera con 62 (22.99%), Decapoda con 52 (18.97%) y Coleoptera con 46 (16.78%) organismos.

Las familias más representativas para caño Lavapatas fueron Leptophlebiidae con 62 (22.63%), seguido de Palaemonidae con 28 (10.22%) e Hydropsychidae con 26 (9.48%) individuos (*Figura 15 B*). Esto se relaciona con la diferenciación de familias abundantes por estaciones de muestreo (*Figura 15 A*), en donde, la estación 1L obtuvo 104 organismos de los cuales predominó la familia Hydropsychidae (21), en la estación 2L hubo un total de 75 organismos obteniendo 23 familias donde la más representativa fue Palaemonidae (17) y en la estación 3L hubo 95 individuos, de los cuales la familia Leptophlebiidae predominó con 32 organismos.

Figura 15. Abundancia RNSC La Fortuna.





*A) Abundancia por estaciones de muestreo B) Abundancia relativa. Elaboración Propia.

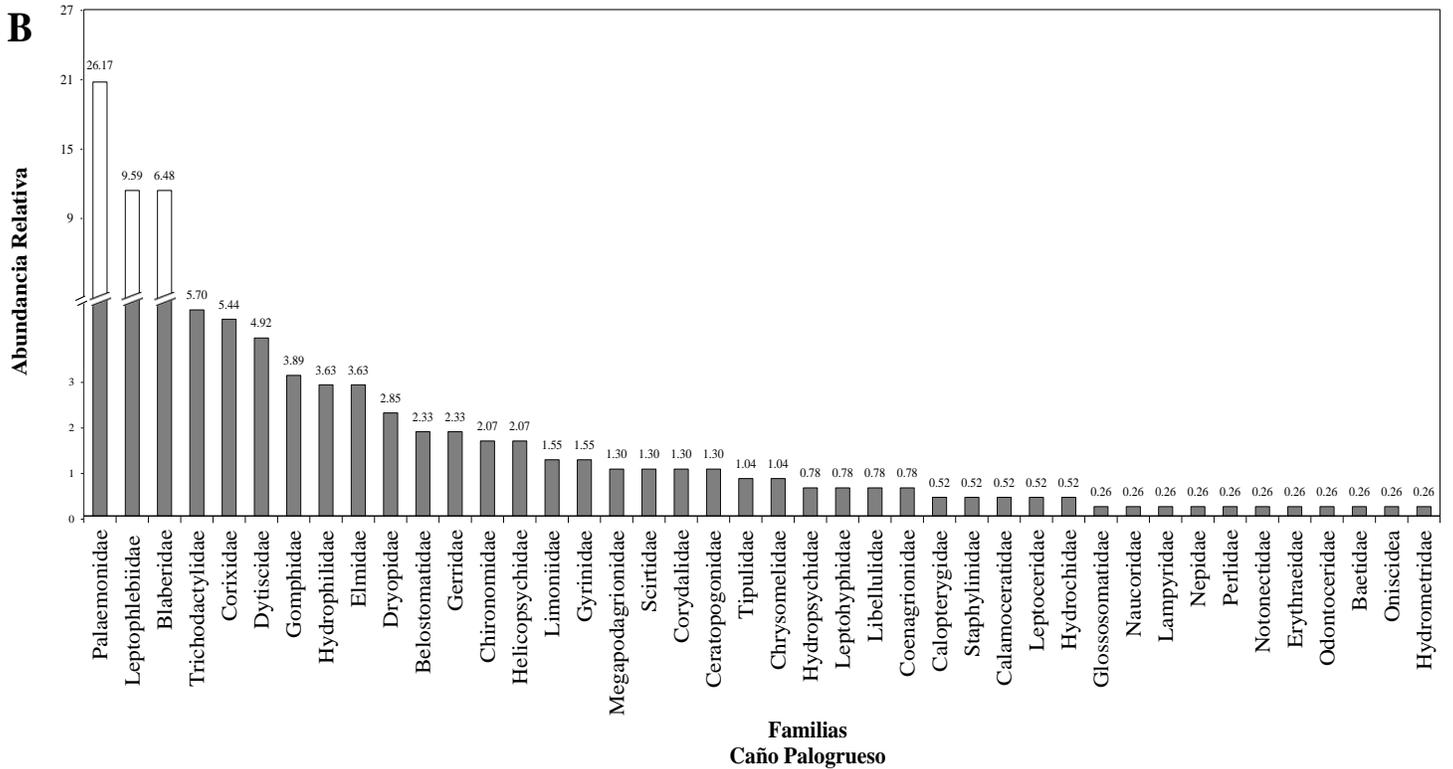
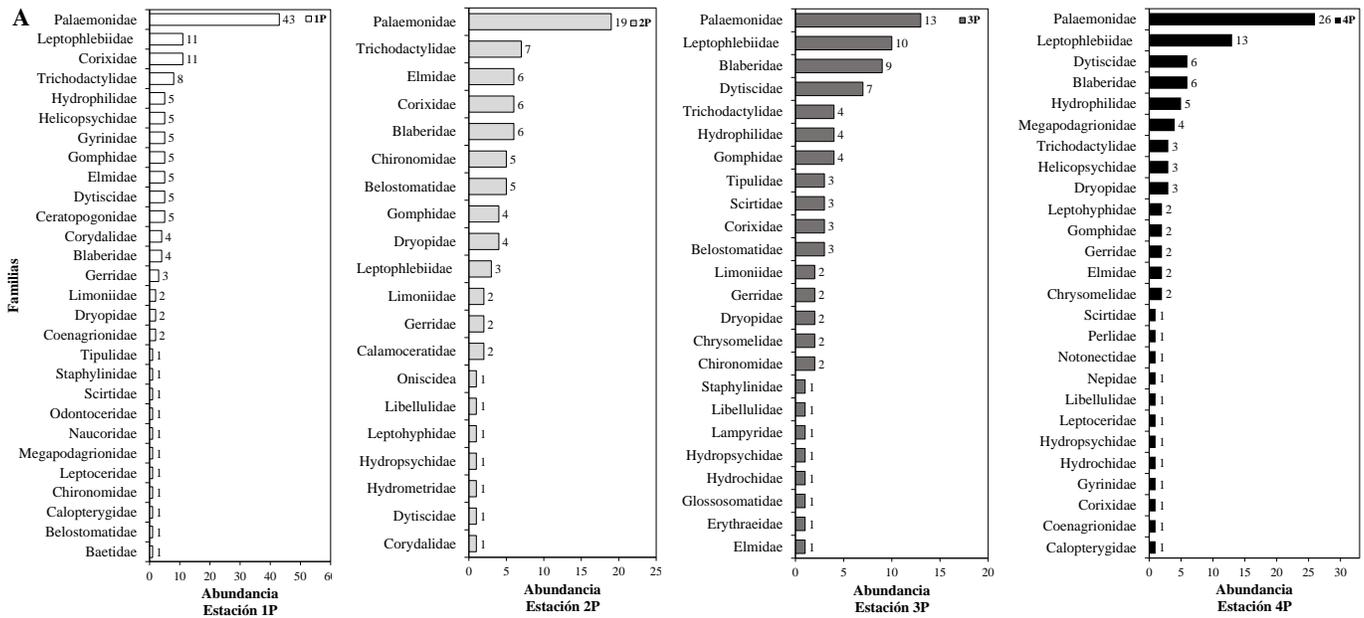
7.5.2.2. RNSC Las Violetas caño Palogrueso

Las estaciones de caño Palogrueso (*Figura 3*), obtuvieron un total de 386 individuos, distribuidos en 11 Órdenes, 42 Familias y 33 Géneros (*Anexo 6*). Los órdenes más representativos para la zona fueron Decápoda con 124 organismos (32.12%), seguido de Coleoptera con 78 (20.20%) organismos y por último Hemiptera con 43 (11.13%) de individuos.

La familia con mayor abundancia fue Palaemonidae con 101 (26.17%), Leptophlebiidae 37 (9.59%) y Blaberidae 25 (6.48%) de organismos, mientras que hubo familias como Odontoceridae, Perlidae o Baetidae que tuvieron únicamente un registro en la abundancia total (*Figura 16 B*), además se destaca que para cada una de las estaciones de muestreo, la familia Palaemonidae fue la más abundante donde resalta la estación 1P con 43 organismos, mientras que la familia Leptophlebiidae tuvo una tendencia estable en 10-13 organismos.



Figura 16. Abundancia RNSC Las Violetas.



*A) Abundancia por estaciones de muestreo B) Abundancia relativa total. Elaboración Propia.



7.5.2.3. RNSC La Siberia caño Choapo

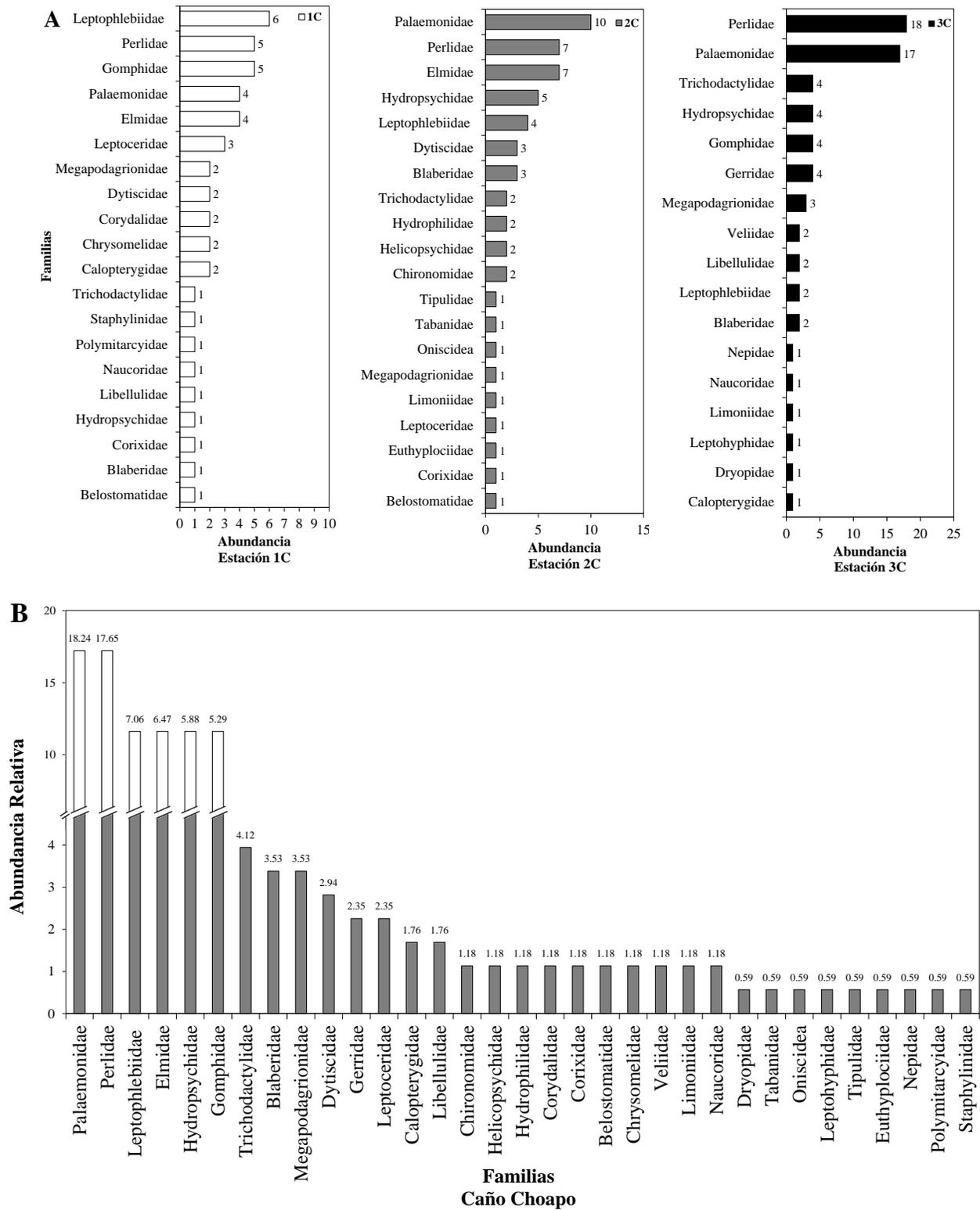
En caño Choapo se obtuvo una abundancia total de 170 organismos, los cuales se distribuyeron en 10 Órdenes, 33 Familias y 28 Géneros (*Anexo 6 C*). Los órdenes predominantes para la zona fueron Decapoda con 39 organismos (22.94%), Plecoptera con 30 (17.65%) y Coleoptera con 22 (12.94%) individuos.

Para esta zona de muestreo es notable que la abundancia estuvo disminuida representando 20.48% del total colectado, se resalta que las familias predominantes fueron Palaemonidae 31 (18.24%) y Perlidae con 30 (17.65%), seguido por Leptophlebiidae con 12 (7.06%) individuos. Por el contrario, hubo organismo como Euthyplociidae y Polymitarcyidae que únicamente se presentaron una vez y son consideradas familias sensibles (*Figura 17 B*).

Se destaca que la estación de muestreo 3C obtuvo 68 de organismos y un total de 17 familias donde es evidente la dominancia de la familia Perlidae mientras que la estación 1C que obtuvo 46 organismos distribuidos en 20 familias (*Figura 17 A*).



Figura 17. Abundancia RNSC La Siberia.



*A) Abundancia por estaciones de muestreo B) Abundancia relativa. Elaboración Propia.

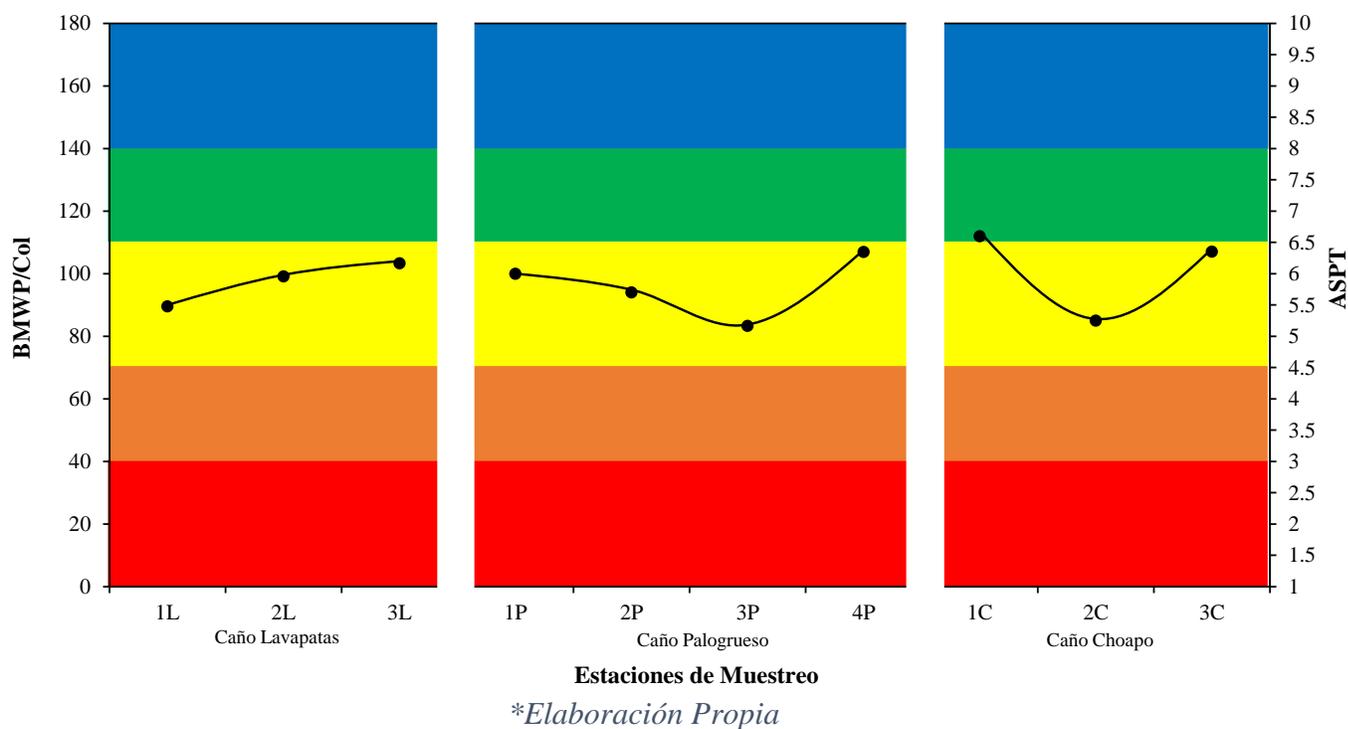


7.6. Índices biológicos

7.6.1. Biological Monitoring Working Party BMWP/col y Average Score per-Taxon ASPT

Basado en el índice BMWP/Col-ASPT (*Tabla 3*) para toda el área de estudio, la calidad del agua se clasifica como dudosa – Clase III, que indica la presencia de una moderada contaminación a excepción de la estación 1C de caño Choapo que obtuvo una calidad de agua aceptable Clase II, indicando que el afluente presenta una ligera contaminación (*Figura 18*).

Figura 18. Resultados de índices biológicos BMWP/Col y ASPT.



7.6.2. Índices de diversidad

El índice de Shannon-Weaver obtuvo que las estaciones de muestreo tenían valores homogéneos, resalta que la estación de 3P de caño Palogrueso y 3C de caño Choapo poseen valores encima de 3 indicando que poseen mayor diversidad respecto a las demás estaciones de muestreo (*Tabla 7*). El índice de dominancia de Simpson obtuvo que la estación 3C caño Choapo fue la que obtuvo el valor más aproximado a 0, teniendo una comunidad de organismos con mayor dominancia (*Tabla 7*). Con el índice



de Margalef se obtuvo una posible relación funcional en la estación 1P, indicando una alta riqueza específica entre el número de especies y el número total de individuos.

Tabla 7. Índices de biodiversidad.

Reserva	Afluente	Estaciones	Abundancia	Riqueza	Shannon -Weaver	Simpson λ	Margalef
RNSC La Fortuna	Lavapatas	1L	104	23	2.63	0.90	4.74
		2L	76	29	2.90	0.91	6.47
		3L	95	25	2.77	0.90	5.27
RNSC Las Violetas	Palogrueso	1P	136	35	2.83	0.88	6.92
		2P	78	23	2.68	0.90	5.05
		3P	81	29	3.03	0.93	6.37
		4P	91	29	2.77	0.89	6.21
RNSC La Siberia	Choapo	1C	46	24	3.01	0.94	6.01
		2C	56	22	2.75	0.91	5.22
		3C	68	21	2.41	0.85	4.74

*En negrillas valores altos por zona de muestreo.

Elaboración Propia.

7.7. Análisis de correspondencia Canónica CCA

Por medio del análisis multivariado, se generó un gráfico que explicó el 45.80% de los datos, encontrando tres agrupaciones asociadas a cada uno de los caños.

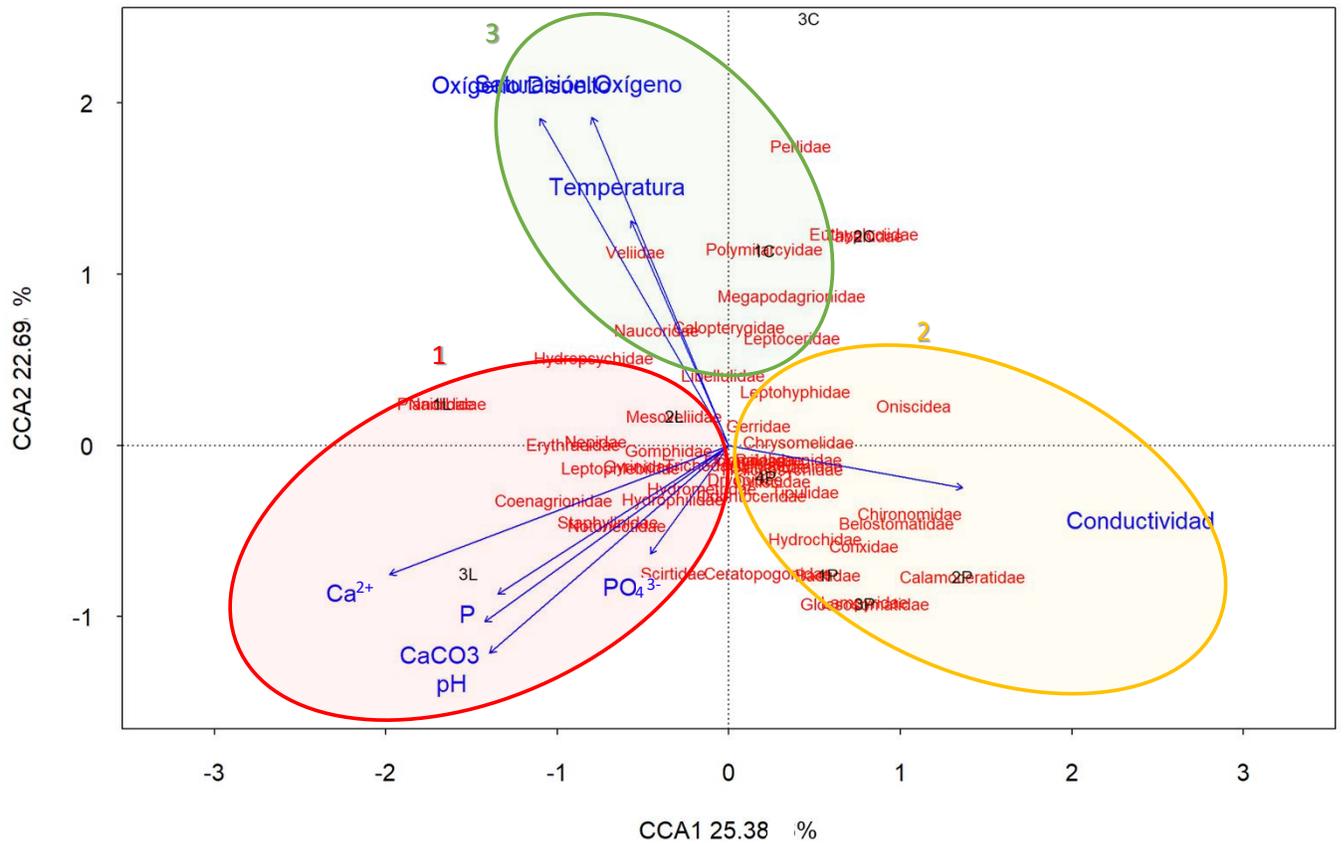
El grupo (1) se estableció en el cuadrante tres, generando una relación negativa entre las estaciones de caño Lavapatas (en mayor medida la estación 3L) con las variables físicoquímicas calcio (Ca^{2+}), carbonato de calcio (CaCO_3), fósforo (P) y fosfatos (PO_4^{3-}) y el pH, y con familias de macroinvertebrados acuáticos como Leptophlebiidae, Gomphidae y Coenagrionidae.

El grupo (2) se estableció en el cuadrante cuatro, en donde se relacionan positivamente las estaciones de muestreo de caño Palogrueso con la variable de conductividad y las familias Palaemonidae, Tipulidae, Corixidae, Belostomatidae.



El grupo (3) se ubicó entre los cuadrantes uno y dos y relacionó positivamente a la estación 1C de caño Choapo con las variables temperatura, saturación de oxígeno y oxígeno disuelto con familias de hemípteros como Veliidae y Naucoridae

Figura 19. Análisis de correspondencia canónica.



*Relación multivariada entre las estaciones de muestreo. Los vectores indican las variables ambientales, en rojo están las familias y en negro las estaciones de muestreo (L: caño Lavapatás, P: caño Palogrueso, C: caño Choapo)

Elaboración Propia



8. Discusión

8.1. Variables físicoquímicas

Se resalta la relación entre las variables oxígeno disuelto y temperatura en todos los afluentes y las estaciones trabajadas. Para caño Lavapatás se presentó una variación en la relación entre el oxígeno disuelto y la temperatura, encontrando que durante los meses de septiembre, octubre y noviembre se presentaron valores altos de oxígeno disuelto (>4 mg/L) y de temperatura ($>25^{\circ}\text{C}$) en contraste los meses de diciembre y enero fueron significativamente menores (*Figura 8 AB*). Según Abowei, (2010) relaciona los valores altos de OD con las épocas de lluvia, por las escorrentías que conllevan las fuertes precipitaciones, así mismo el “Informe de Predicción Climática a Corto, Mediano y Largo” reportó en el trimestre de agosto, septiembre y octubre del año 2022 un incremento en las lluvias de un 20% en Colombia (Ruiz Murcia & Melo Franco, 2022). Para los meses de diciembre 2022 a febrero de 2023 se observa una reducción notable en las precipitaciones, por lo tanto, la cantidad de agua que recorre el afluente (*Figura 13*) es menor, influyendo en el comportamiento del caudal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Los valores de conductividad y pH obtenidos en el estudio (*Figura 10*), permiten identificar los afluentes Lavapatás y Palogrueso como cursos hídricos con aguas *claras* para la temporada de monitoreo. Esta clasificación se ve influenciada por las precipitaciones y la época del año, donde las aguas *claras* presentan un pH desde ligeramente ácido-alcalinos y una conductividad baja de $10-92\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mora Polanco et al., 2007; Lasso et al., 2014; Lasso, Morales-Betancourt, & Escobar-Martínez, 2018). Para los caños Lavapatás y Palogrueso la conductividad osciló entre $4-35\mu\text{S}/\text{cm}$ y el pH presentó un rango entre 6-7.5. Siendo este tipo de agua característico del departamento del Guaviare.

Caño Choapo presenta características que podrían sugerir aguas *claras*, teniendo en cuenta los valores promedio de pH de 6.2 y de conductividad de $7 - 15\mu\text{S}/\text{cm}$, con una variación contrastante en el mes de



octubre donde el pH arrojó valores ácidos (1.7 – 2) y una conductividad notablemente alta respecto a los otros meses de (25- 35 μ S/cm). Dichos cambios en el mes de octubre (*Figura 10 E*), se pueden asociar al aumento de las precipitaciones, que pueden aumentar la carga de desechos en el cuerpo de agua por escorrentía. Para esta RNSC se observó alta actividad económica ganadera, donde el excremento posee abundantes componentes del nitrógeno y fósforo que alteran el pH ([Pinos-Rodríguez et al., 2012](#)). Sin embargo, para los meses consecutivos los valores de pH aumentan, posiblemente estos ecosistemas acuáticos tienen la capacidad de amortiguar y transformar la carga de materia orgánica, que se refleja en la estabilización de los valores de pH (*Figura 10 F*).

Según un estudio realizado por [Solís-Castro et al., \(2018\)](#) en pozos y nacimientos, afirman que “la conductividad es una medida que permite conocer la capacidad que posee el agua para transportar la corriente eléctrica por medio de sales disociadas en forma de iones y cationes”, por lo que la capacidad de transportar energía eléctrica se relaciona directamente con la dureza del agua que está compuesta de sales de calcio, carbonatos de calcio. Esto se coincide con los niveles y picos similares entre la conductividad (4-35 μ S/cm) y las concentraciones de calcio y carbonato de calcio (*Figura 10; Figura 12*).

8.2. Diversidad de macroinvertebrados

El orden Decapoda, representado con organismos de las familias Palaemonidae y Trichodactylidae registro la mayor abundancia para el periodo de muestreo, recolectándose en todas las estaciones, presentando una dinámica similar para el periodo 2021-2 ([Tolosa Soler, 2022](#)). Estos organismos se encuentran asociados a lugares con alta cantidad de materia orgánica como la hojarasca en descomposición y a sustratos con características arenoso-arcilloso como es la zona de estudio ([Vásquez-R & Bocanegra-M, 2019](#)). Un aspecto ecológico importante es que son detritívoros, trituradores y depredadores, por lo cual, según [Jacobsen et al.,\(2008\)](#) los decápodos de la familia Palaemonidae son



considerados como "ingenieros del ecosistema", ya que modifican, mantienen y controlan directa o indirectamente la disponibilidad de los recursos y del espacio.

La familia Palaemonidae se destaca por requerir aguas duras para su proliferación y requieren componentes como el calcio para mineralizar el exoesqueleto durante la muda, por lo que según [Graciano León et al., \(2021\)](#), la dureza del agua es una variable que influye significativamente en la reproducción, crecimiento y supervivencia de los organismos. Esto se relaciona con los resultados obtenidos en este monitoreo, la presencia de componentes del calcio como el CaCO_3 y Ca^{2+} . (*Figura 12*) ayudan a los organismos a una mayor proliferación, y la presencia de componentes del fósforo como PO_4^{3-} y P (*Figura 11*) indican la presencia de materia orgánica en el medio ([Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008](#)).

El orden Coleoptera fue el segundo más abundante para las zonas de muestreo, este se caracteriza por presentar un estadio larvario en el ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y un estadio adulto que suele ser nadador, con una dieta diversa para el orden, e incluye organismos depredadores, detritívoros y herbívoros por lo que se consideran transformadores e integradores de materia ([Jerez & Moroni, 2006](#)). Para la zona de estudio se obtuvo como resultado que predominaron las familias Dytiscidae, Hydrophilidae y Elmidae, estos coleópteros que se caracterizan por ser carnívoro-depredadores, asociados a ambientes con una carga de materia orgánica con hojarasca y troncos en descomposición. [González-Córdoba et al., \(2020\)](#) menciona que este orden requiere altos niveles de oxígeno disuelto, concordando con los resultados obtenidos, donde el oxígeno disuelto en todo momento marco valores $>4\text{mg/L}$, que permiten la supervivencia de organismos acuáticos ([Pulla & Chang, 2007](#)).

La familia más abundante de la clase Insecta para todo el monitoreo, fue la familia Leptophlebiidae particularmente en las estaciones 3L y 1C. (*Figura 15 A; Figura 17 A*). En general los efemerópteros son poco tolerantes a la contaminación por materia orgánica y a los niveles bajos de OD, lo que los hace organismos bioindicadores ([Mosquera-Restrepo & Peña-Salamanca, 2019](#)). La familia Leptophlebiidae



se distribuye ampliamente en ecosistemas tropicales y representan un eslabón importante en la cadena de alimentación y flujo de materia y energía de los sistemas acuáticos.

La familia Perlidae representó un 17.65% de la representatividad en el caño Choapo (*Figura 17 B*), con alta abundancia en todas las estaciones de este afluente, estos organismos son considerados muy sensibles a los cambios y/o perturbaciones en el medio y requieren variables ambientales como OD, saturación de oxígeno, temperaturas y pH adecuadas para sobrevivir. [Gutiérrez-Fonseca, \(2009\)](#) evaluó la ecología, reproducción, taxonomía y distribución de Plecoptera y determinó que estos organismos requieren un pH neutro y caudales lentos, lo que concuerda con los resultados obtenidos para los meses de septiembre, noviembre, diciembre y enero para caño Choapo, posiblemente favoreciendo su reproducción y ciclo de vida.

Los muestreos realizados en el segundo periodo de los años 2021 y 2022, en las tres RNSC (*Tabla 8*) muestran diferencias en el total de organismos recolectados, se puede asociar al aumento de métodos de recolección, donde, para el año 2022 se trabajó con la red de pantalla que permite obtener organismos que se encuentran en el fondo por lo cual según [Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, \(2008\)](#) afirman este método tiene una alta eficiencia para obtener organismos asociados al bentos, en donde hay gran variedad de hábitats que ofrecen condiciones específicas como los fondos arenosos y hojarasca que permiten la captura de organismos como crustáceos, efemerópteros, tricópteros, coleópteros y plecópteros.



Tabla 8. Diferencia entre el total de organismos recolectados por caño 2021 y 2022.

<u>Año</u>	<u>No. organismos</u>	<u>* Familia</u>
RNSC La Fortuna - Caño Lavapatás		
2021	120	Chironomidae (22.50%)
2022	275	Leptophlebiidae (22.63%)
RNSC Las Violetas - Caño Palogrueso		
2021	190	Chironomidae (13.68%)
2022	386	Palaemonidae (26.17%)
RNSC La Siberia - Caño Choapo		
2021	102	Elmidae(22.56%)
2022	170	Palaemonidae (18.24%)

**familia más abundante por caño.*

Para los caños Lavapatás y Palogrueso predomina la presencia de la familia Chironomidae en el año 2021, y para caño Choapo la familia Elmidae como la más abundante. Los quironómidos son organismos reconocidos por su capacidad de resistir ambientes con un estado de contaminación moderado a alto, mientras que la familia Elmidae es posible encontrarla en sistemas con contaminación moderada, que presenten niveles de oxígeno adecuados para su desarrollo y en sistemas con disponibilidad de alimentos asociado a su carácter de detritívoros ([Gutiérrez-Fonseca, 2010](#); [Tolosa Soler et al., 2022](#)).

Para el presente periodo de estudio, los caños Palogrueso y Choapo registran la familia Palaemonidae con la mayor abundancia. Esta semejanza entre los caños puede estar asociada a, **1)** la similaridad en los componentes del calcio entre las dos zonas ([Graciano León et al., 2021](#)), y **2)** la actividad ganadera que altera las variables físicoquímicas producto de la remoción de sustrato por parte del ganado ([Murgueitio, 2003](#)) y **3)** la capacidad de tolerancia de esta familia a ambientes con alta carga de materia orgánica que utilizan como recurso ([Collart & Magalhães, 1994](#); [Jacobsen et al., 2008](#)).

La familia Perlidae presentó cambios relevantes en la abundancia para los dos periodos, pasando de un (1) organismo reportado en el periodo 2021-2 a treinta (30) organismos para el periodo 2022-2. Las larvas de macroinvertebrados acuáticos se ven afectados por el aumento y cambio del caudal (*Anexo 7*)



que genera un lavado de material, por tanto, arrastre de sustratos donde se pueden establecer los organismos. El orden Plecoptera no cuenta con adaptaciones marcadas como uñas para el agarre y suelen encontrarse en sustratos lisos, que no ofrecen resistencia al aumento de la velocidad de la corriente por aumento en precipitaciones ([Tamaris-Turizo et al., 2007](#)).

8.3. Índices de calidad de agua BMWP/Col – ASPT e índices de diversidad

Los resultados obtenidos para el BMWP/Col y ASPT en todos los afluentes ([Figura 18](#)) indicaron que se presentó un estado de calidad de agua “*dudosa*” lo que significa que hay presencia de contaminación moderada del agua en nueve de diez estaciones de muestreo, a excepción de la estación 1C de caño Choapo que obtuvo una calidad de agua “*aceptable*” indicando la presencia de aguas ligeramente contaminadas, esto contrastó con los resultados obtenidos para el periodo 2021-2 donde [Tolosa Soler, \(2022\)](#) reportó una calidad de agua “*buena*” y “*aceptable*” para la mayoría de las estaciones de muestreo.

Los resultados del índice de calidad de agua biológica de las estaciones de Caño Lavapatás ([Figura 18](#)), presentan una ligera tendencia al incremento de la calidad desde *aguas arriba - aguas abajo*. Este acontecimiento se puede relacionar con una capacidad de autodepuración del afluente, asociado a la dinámica pluvial de la zona que provoca una degradación de contaminantes que se incorporan al flujo del agua ([Chaparro-Vélez, 2020](#)), estos cambios en la calidad de los cursos hídricos requieren seguimiento continuo o un monitoreo temporal.

Según los índices de diversidad ([Tabla 7](#)), Palogrueso fue el afluente que presentó mayor diversidad biológica entre sus estaciones de muestreo, en donde la estación 1P obtuvo un índice de Margalef alto ($D_{Mg}=6.92$), lo que supone una dependencia entre el número de morfoespecies (35) encontradas con la cantidad total de individuos (136) indicando una alta diversidad y relación entre los taxones de la zona ([Moreno, 2001](#)). La estación 3P obtuvo un valor alto para el índice de Shannon-Weaver ($H'=3.03$) reflejando heterogeneidad en la estación de muestreo, lo que resulta en una alta diversidad de



macroinvertebrados, por lo cual se asume que todos los individuos en la estación son diferentes (Pla, 2006). Estos resultados de diversidad se relacionan con lo descrito por Jacobsen et al., (2008), quienes afirman que es alta la diversidad en ríos y caños del trópico porque hay factores físicoquímicos propios para la vida como niveles óptimos de OD y pH ligeramente ácido-neutro, además de patrones altitudinales, temperatura y estacionalidad que proporcionan condiciones propicias para una estabilidad del ensamblaje de macroinvertebrados, permitiéndoles una reproducción continua o semicontinua durante todo el año.

Relacionado con lo anterior, el índice de Simpson obtenido en la estación 3C el valor más bajo de incertidumbre ($\lambda=0.85$), lo que indica una mayor dominancia en los taxones en el punto de muestreo. Esto se relaciona con los resultados obtenidos en donde, se presentaron dos familias claramente dominantes (Perlidae y Palaemonidae) representando más de la mitad de los organismos de la estación 3C (Figura 17 A), reflejando una homogeneidad en el ensamblaje de macroinvertebrados por lo que, según el autor Pla, (2006) si se llegara a tomar un individuo al azar, hay mayor probabilidad de obtener un organismo perteneciente a los taxones dominantes.

8.4. Análisis de Correspondencia Canónica CCA

Las estaciones del caño Lavapatás, principalmente 3L presento una relación negativa entre las variables físicoquímicas calcio (Ca^{2+}), carbonato de calcio (CaCO_3), fósforo (P), fosfatos (PO_4^{3-}) y el pH con las familias de macroinvertebrados acuáticos Leptophlebiidae, Gomphidae y Coenagrionidae (Figura 19). Estas familias son bioindicadoras de la calidad biológica del agua y se consideran sensibles a la contaminación por materia orgánica (Roldán-Pérez, 2016). Se destaca que los bajos niveles de dureza se asocian a características oligotróficas del medio (baja concentración de nutrientes), debido a la poca mineralización que tienen las aguas, lo cual es una característica típica de la zona, asociada al origen



geológico de los suelos relacionado con el Escudo Guayanés (Lasso, Morales-Betancourt, Granados-Martínez, et al., 2018; Mora Polanco et al., 2007).

Las estaciones de caño Palogrueso se correlacionan positivamente con la variable de conductividad y las familias Palaemonidae, Chironomidae, Belostomatidae y Corixidae (*Figura 19*). Las familias de Hemíptera tienen hábitos alimenticios con tendencia omnívora y depredadora, prefieren aguas con velocidades de caudal lénticas, presencia de materia orgánica y niveles altos de conductividad que favorece la abundancia en presas como pequeños vertebrados, crustáceos, moluscos y larvas de dípteros (Aristizábal-García, 2016). Esto se relaciona con las características del afluente que permitían un establecimiento de estos organismos en el ensamblaje de macroinvertebrados.

La estación 1C de caño Choapo correlacionó de forma positiva con las variables de temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno con las familias de Hemípteros Veliidae y Naucoridae (*Figura 19*). Estas familias de Hemípteros se dividen en dos, los patinadores, que se movilizan por la superficie del agua y los hemípteros acuáticos que se sumergen permaneciendo en el fondo (Aristizábal García, 2002). Se considera que los hemípteros son indicadores de niveles óptimos de las variables físicoquímicas, debido a la susceptibilidad hacia sustancias contaminantes (detergentes y fosfatos) que rompen la película de agua y generan alteraciones en los niveles de OD (Carrasco Arias, 2005), concordando con los resultados obtenidos para el afluente.



9. Conclusiones y recomendaciones

9.1. Conclusiones

- ☞ La calidad biológica del agua para los tres caños monitoreados se define como “dudosa” o moderadamente contaminada a partir de los índices BMWP/Col y ASPT, con una presencia elevada de la familia Palaemonidae, organismos indicadores de un alto contenido de materia orgánica en el medio.
- ☞ Para caño Choapo ubicado en la RNSC La Siberia, la estación 1C (aguas arriba) se considera con aguas de calidad “aceptable” y se asocia con la presencia de organismos de las familias Leptophlebiidae y Perlidae, consideradas familias bioindicadoras o sensibles y eslabones importantes para el flujo de materia y energía de los ecosistemas.
- ☞ A partir de los índices alfa, caño Palogrueso en la RNSC Las Violetas, obtuvo los valores más altos de diversidad biológica para las estaciones 1P y 3P, indicando una alta heterogeneidad, mientras que caño Choapo-RNSC La Siberia en la estación 3C tiene mayor dominancia, revelando una elevada homogeneidad en el ensamblaje de macroinvertebrados.
- ☞ La familia Leptophlebiidae se relacionó con niveles bajos de calcio (Ca^{2+}), carbonato de calcio (CaCO_3), fósforo (P), fosfatos (PO_4^{3-}) y el pH, condiciones que se presentaron en el caño Lavapatás-RNSC La Fortuna, esta familia es sensible a altos niveles de contaminación por materia orgánica.



Los Hemípteros de las familias Corixidae y Belostomatidae se asociaron a altos niveles de conductividad en caño Palogrueso, mientras que las familias Veliidae y Naucoridae se relacionaron con la temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno en caño Choapo.

9.2. Recomendaciones

Se sugiere para investigaciones futuras, realizar monitoreos durante el primer periodo del año que permitan comparar las variaciones de los componentes físicoquímicos y el ensamblaje de macroinvertebrados. Además se recomienda agregar variables físicoquímicas como *Demanda Bioquímica de Oxígeno* – DBO y *Demanda Química de Oxígeno* - DQO que permiten valorar el proceso de oxidación biológica y química de materia orgánica y residuos químicos.



10. Referencias bibliográficas

- Abowei, J. F. N. (2010). Salinity, Dissolved Oxygen, pH and Surface Water Temperature Conditions in Nkoro River, Niger Delta, Nigeria. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(1), 36–40. <https://maxwellsci.com/print/ajfst/v2-36-40.pdf>
- Alonso Moreno, Y., Álvarez Zapata, A., Cárdenas Mahecha, L., Castro Salamanca, J., Delvalle Quevedo, R., Díaz Rodríguez, G., Hernández Rodríguez, D., Herrera Tequia, E., Liévano Latorre, L., López García, V., Martínez Rodríguez, C., Ojeda Prieto, L., Orjuela León, S., Ramírez Bastidas, R., Robles Sánchez, A., & Rodríguez Mora, D. (2013). *Estudio regional continental de zonas homogéneas en el Departamento del Guaviare, San José Del Guaviare* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/12213>
- Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, O. E., & Molsalve, A. D. J. (2008). Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, 121–141. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n9/n9a10.pdf>
- Aristizábal García, H. (2002). *Los hemípteros de la película superficial del agua en Colombia. Parte 1. Familia Gerridae*. <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/48>
- Aristizábal-García, H. (2016). *Hemípteros acuáticos y semiacuáticos del neotrópico: Vol. No. 31*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Editorial Gente Nueva.
- Badii, M. H., Castillo, J., Cortez, K., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 4(2), 405–422. <http://eprints.uanl.mx/12486/1/A9%20%281%29.pdf>
- Buenaño, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Parra, G., & Pérez, R. (2018). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, provincia de



Tungurahua,

Ecuador

Intropica.

<https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/2405/1758>

Caro Ávila, D. F. (2021). *Consolidación de procesos: administrativos, gestión e investigación del Museo de Ciencias de la Universidad El Bosque* [Universidad El Bosque].
<http://hdl.handle.net/20.500.12495/6999>

Carrasco Arias, O. (2005). *Distribución y ecología de la comunidad de hemípteros acuáticos (Suborden : Heteroptera) en las lagunas de la zona de inundación del río Mamore (Trinidad-Beni)* [Universidad Mayor de San Andrés]. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-11/010039448.pdf

Chaparro-Vélez, S. A. (2020). *Determinación de la capacidad de autodepuración de un tramo del río Tunjuelo respecto al pH y la demanda biológica de oxígeno (DBO)*.
<https://hdl.handle.net/10983/24838>

Collart, O. O., & Magalhães, C. (1994). Ecological constraints and life history strategies of palaemonid prawns in Amazonia. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 25(4), 2460–2467.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/03680770.1992.11900670>

Colombia, & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*.
<https://archivo.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/plan-hidrico-nacional/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico.pdf>

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico. (2012). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica de Caño Grande, Municipios de El Retorno,*



San José del Guaviare y Calamar Departamento del Guaviare. <https://cda.gov.co/apc-aa-files/3b54676f59185c940c8d2be53b4695/pomca-cano-grande-20-05-13.pdf>

Decreto 2811, Pub. L. No. 34243, “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.” (1974).
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

González-Córdoba, M., del-Carmen-úñiga, M., Giraldo, L.-P., Ramírez, Y.-P., Chará, J., González-Córdoba, M., del-Carmen-úñiga, M., Giraldo, L.-P., Ramírez, Y.-P., & Chará, J. (2020). Sensibilidad de Elmidae (Insecta: Coleoptera) a la perturbación del hábitat y la calidad fisicoquímica del agua en ambientes lóticos de los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 601–622. <https://doi.org/10.15517/RBT.V68I2.36702>

Graciano León, F., Vásquez Mori, J., & Reyes-Avalos, W. (2021). La dureza total del agua afecta la muda, calcificación, crecimiento y supervivencia de *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae). *Acta Biológica Colombiana*, 27(1), 88–96.
<https://doi.org/10.15446/abc.v27n1.89933>

Gutiérrez-Fonseca. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador. En M. Springer & J. M. Sermeño Chicas (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos.* (p. 64). Proyecto Universidad de El Salvador (UES) – Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2944>



- Gutiérrez-Fonseca, J. (2009). *Ecología, reproducción, taxonomía y distribución de Anacroneuria spp. Klapálek 1909 (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en Costa Rica* [Ciudad Universitaria Rodrigo Facio]. <http://www.biologia.ucr.ac.cr/TesisLic/PabloGutierrez.pdf>
- Hamada, N., Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (2019). *Thorp and Covich's freshwater invertebrates. Volume III, Keys to neotropical hexapoda*. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-01626-4>
- Jacobsen, D., Cressa, C., Mathooko, J. M., & Dudgeon, D. (2008). Macroinvertebrates: Composition, Life Histories and Production. *Tropical Stream Ecology*, 65–105. <https://doi.org/10.1016/B978-012088449-0.50006-6>
- Jerez, V., & Moroni, J. (2006). Diversity of Freshwater Beetle of Chile. *Gayana*, 70(1), 72–81. <https://www.scielo.cl/pdf/gayana/v70n1/art12.pdf>
- Lasso, C. A., Morales-Betancourt, M. A., & Escobar-Martínez, I. D. (2018). Biodiversidad de la sierra de La Macarena, Meta, Colombia. Parte I. Ríos Guayabero medio, bajo Losada y bajo Duda. En Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical (Ed.), *Biodiversidad de la sierra de La Macarena, Meta, Colombia. Parte I. Ríos Guayabero medio, bajo Losada y bajo Duda: Vol. V*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://doi.org/10.21068/a2018n02>
- Lasso, C. A., Morales-Betancourt, M. A., Granados-Martínez, C., & Núñez-Avellaneda, M. (2018). Limnología de los ríos Guayabero medio, bajo Losada y bajo Duda, sierra de La Macarena, Meta, Colombia. En *Biodiversidad de la sierra de La Macarena, Meta, Colombia. Parte I. Ríos Guayabero medio, bajo Losada y bajo Duda* (pp. 63–80). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://doi.org/10.21068/A2018N02>



Lasso, C. A., Rial, A., Colonnello, G., Machado-Allison, A., & Trujillo, F. (2014). *XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia - Venezuela). Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia Orinoquia (Colombia-Venezuela)*. a. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
<http://hdl.handle.net/20.500.11761/31361>

Merritt, R., Cummins, K., & Berg, M. (1984). *An introduction to the aquatic insects of North America*.

Decreto 1076, Pub. L. No. 312 (2015).
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Decreto 1729, Pub. L. No. 44893, “Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones” (2002).
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *PLAN DE ORDENACION Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DE CAÑO GRANDE Municipios de El Retorno, San José del Guaviare y Calamar Departamento del Guaviare POMCA*. <https://cda.gov.co/apc-aa-files/3b54676f59185c940cba8d2be53b4695/pomca-cano-grande-20-05-13.pdf>

Decreto 1376, Pub. L. No. 1376, “Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial” (2013). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Decreto-1376-de-2013.pdf>



- Mora Polanco, A., Sánchez Calderón, L., Lasso Alcalá, C., & Mac Quhae Romero, C. (2007). Vista de Parámetros Físicoquímicos de Algunos Cuerpos de Agua Adyacentes a la Confluencia de los Ríos Orinoco y Ventuari, Estado Amazonas, Venezuela. *Boletín Del Centro De Investigaciones Biológicas*, 41(1), 4459. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/90/90>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. En *M&T – Manuales y Tesis SEA* (Vol. 1). <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Moreno Mora, L. C., & Rodríguez Viana, V. (2021). *Colombia y sus recursos: estrategias económicas y de conservación dirigidas a fortalecer el sector rural en San José del Guaviare, Guaviare. Fase 7: evaluación de aspectos limnológicos*. <https://login.ezproxy.unbosque.edu.co/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ir01758a&AN=riueb.20.500.12495.7005&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Mosquera-Restrepo, D., & Peña-Salamanca, E. (2019). “Ensamblaje” de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables físicoquímicas en un río de montaña en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 67(6). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/30842/40104>
- Murgueitio, E. (2003). Environmental impact of milk production systems in Colombia and alternative solutions. *Livestock Research for Rural Development*, 15(10). <http://www.lrrd.org/lrrd15/10/murg1510.htm>
- Nava Tovar, G. (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio* (1a ed.). Instituto Nacional de Salud. <https://isbn.cloud/9789581301478/manual-de-instrucciones-para-la-toma-preservacion-y-transporte-de-muestras-de-agua-de-consumo-hu/>



- Parques Nacionales Naturales de Colombia, P. (2021, febrero 28). *Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/>
- Pinos-Rodríguez, J., García-López, J., Peña-Avelino, L., Rendón-Huerta, J., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359–379. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004
- Piñeros Garzón, K. (2019). *Composición y estructura de macroinvertebrados en una laguna amazónica del municipio de Calamar (Guaviare, Colombia)*. [Universidad Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/15947>
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el Índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583–590. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>
- Pulla, E. P., & Chang, J. (2007). *Calidad de agua. Trabajo de investigación Oxígeno Disuelto (OD)*. is.gd/TbUV24
- Ramírez, Restrepo, R., & Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, Vol. 1(5). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008
- Reserva Nacional Natural Nukak. (2019). *Programa de monitoreo de la Reserva Nacional Natural Nukak. Documento anexo del Plan de Manejo del RNN Nukak 2019-2023*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/reserva-nacional-natural-nukak/>



- Roldán Pérez, G. (1998). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia* / (Presencia S.A). Fondo Fen Colombia / Colciencias / Universidad de Antioquia. <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp13.pdf>
- Roldán Pérez, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia : propuesta para el uso del método BMWP/Col. En Universidad de Antioquia (Ed.), *CIENCIA Y TECNOLOGIA* (1.ed). 2003. <https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Roldán Pérez, G., & Ramírez Restrepo, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/71>
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Ruiz Murcia, J. F., & Melo Franco, J. Y. (2022). *Informe de Predicción Climática a Corto, Mediano y Largo*. http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/new_modelo/CPT/informe/Informe_Abr-2022_5_6_7_8_9_10.pdf
- Solís-Castro, Y., Alberto Zúñiga-Zúñiga, L., Mora-Alvarado, D., & La, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 31(1), 35–46. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>



Tamaris-Turizo, C. E., Turizo-Correa, R. R., Del, M., & Zúñiga, C. (2007). Distribución espacio-temporal y hábitos alimentarios de ninfas de *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en el Río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). *Caldasia*, 29(2), 375–385. www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasia.htm

Tolosa Soler, D. F. (2022). *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en tres afluentes de Caño Grande, Guaviare-Colombia. Aporte a calidad de agua y características fisicoquímicas.* <https://eds-p-ebSCOhost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/eds/detail/detail?vid=0&sid=10fe3a52-707f-48dd-aa42-cdd6104a2ffc%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=riueb.20.500.12495.7910&db=ir01758a>

Tolosa Soler, D. F., Castillo-Aguilar, M. A., & Beltrán Hilarión, F. (2022). Macroinvertebrados bentónicos en tres afluentes de Caño Grande en la zona de influencia de la reserva natural nacional Nukak, Guaviare, Colombia: Aporte a la calidad de agua y características fisicoquímicas. En E. Serna (Ed.), *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era* (1a ed.). Instituto Antioqueño de Investigación. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7381757>

USAID. (2022). *Análisis de Deforestación Departamento del Guaviare.* https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00XG22.pdf

Valdez, C. G., Guzmán, M. A., Valdés, A., Forougbakhch, R., Alvarado, M. A., & Rocha, A. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674–1682. <https://doi.org/10.15517/RBT.V66I4.32135>

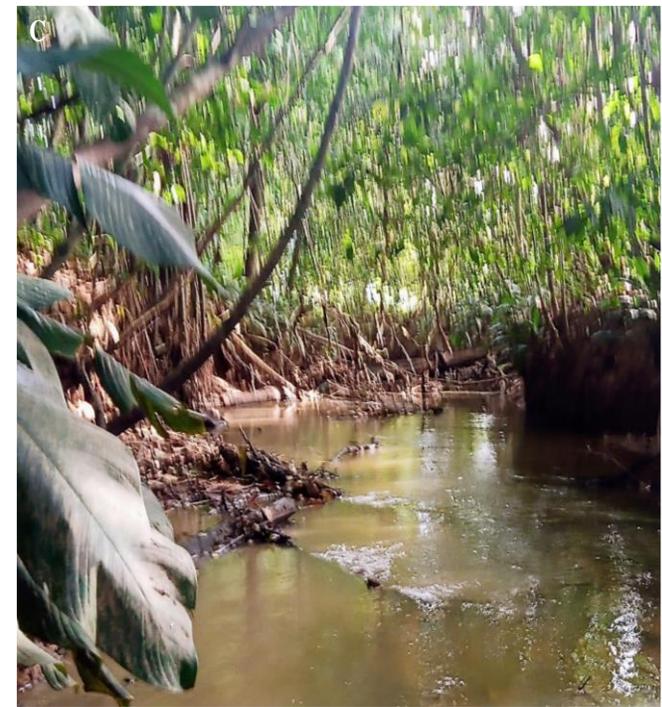
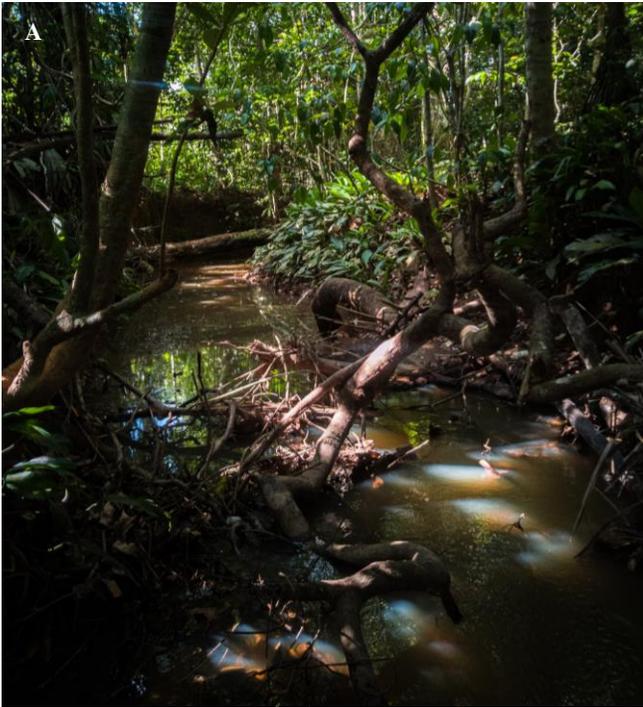


Vásquez-R, J. M., & Bocanegra-M, J. S. (2019). Aspectos ecológicos de decápodos del río Guayuriba (Meta, Colombia). *Caldasia*, 41(2), 392–403.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n2.69544>



11. Anexos

Anexo 1. Fotografías generales de la zona de estudio.



**Caños: A) Lavapatas B) Palogrueso C) Choapo. Fotos: (a)Federico Beltrán (b) Leyder Covaleda (c) Luisa Tejada.*



Anexo 2. Tabla para el cálculo del índice BMWP/Col-ASPT.

			LAVAPATAS			PALOGRUESO				CHOAPO				
CLASE	ORDEN	FAMILIA	1L	2L	3L	1P	2P	3P	4P	1C	2C	3C		
<u>Insecta</u>	Battodea	Blaberidae	?	?		?	?	?	?	?	?	?		
		Chrysomelidae						4	4		4			
		Dryopidae	7		7	7	7	7	7	7	7		7	
	Coleoptera	Dytiscidae		9	9	9	9	9	9	9	9	9		
		Elmidae		6	6	6	6	6	6	6		6		
		Gyrinidae	9	9		9				9				
		Hydrochidae							?	?				
		Hydrophilidae	3	3	3	3			3	3		3		
		Lampyridae							10					
		Scirtidae			7	7			7	7				
		Staphylinidae		6	6	6			6		6			
		Ceratopogonidae			3	3								
		Chironomidae					2	2	2				2	
	Diptera	Limoniidae	?	?	?	?	?	?				?	?	
		Tabanidae										5		
		Tipulidae	3	3	3	3	3	3			3	3		
		Baetidae					7							
	Ephemeroptera	Euthyplociidae										9		
		Leptohyphidae			7			7		7			7	
		Leptophlebiidae	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
		Polymitarcyidae									10			
		Belostomatidae					5	5	5		5	5		
		Corixidae					7	7	7	7	7	7		
		Gerridae		8	8	8	8	8	8	8			8	
		Hydrometridae	4					4						
		Hemiptera	Mesoveliidae			5								
			Naucoridae	7				7				7		7
	Nepidae												5	
	Notonectidae				7						7			
	Megaloptera	Veliidae	8	8									8	
		Corydalidae	6	6		6	6				6			
		Coenagrionidae	7	7	7	7				7				
Odonata	Calopterygidae	7			7				7	7		7		
	Libellulidae	6	6	6		6	6	6	6	6		6		
	Gomphidae	10	10	10	10	10	10	10	10	10		10		
Plecoptera	Megapodagrionidae				6			6	6	6	6	6		
	Perlidae		10						10	10	10	10		
	Calamoceratidae					10								
Trichoptera	Glossosomatidae							7						
	Helicopsychidae	8			8				8			8		
	Hydropsychidae	7	7	7		7	7	7	7	7	7	7		
	Leptoceridae				8				8	8		8		
Arachnida	Odontoceridae		10		10									
	Trombidiformes	?	?					?						
Clitellata	Erythraeidae													
	Tubificida	1												
Malacostraca	Naididae	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
	Palaemonidae	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
Mollusca	Decapoda	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?		
	Gastropoda	?	?	?				?				?		
		Planorbidae	5											
		Total de individuos	104	75	95	136	78	81	91	46	56	68		
		Total de familias	21	23	18	28	20	24	26	20	20	17		
		BMWP/Col	115	137	111	168	114	124	165	132	105	108		
		ASPT	5,5	6,0	6,2	6,0	5,7	5,2	6,3	6,6	5,3	6,4		

*Elaboración Propia.



Anexo 3. Abundancia de cada familia por estaciones de muestreo

		LAVAPATAS			PALOGRUESO				CHOAPO					
	ORDEN	FAMILIA	1L	2L	3L	1P	2P	3P	4P	1C	2C	3C		
<u>Insecta</u>	Battodea	Blaberidae	7	3		4	6	9	6	1	3	2		
		Chrysomelidae						2	2		2			
		Dryopidae	2		3	2	4	2	3		2		1	
		Dytiscidae		1	4	5	1	7	6		4	3		
		Elmidae		2	3	5	6	1	2			7		
	Coleoptera	Gyrinidae	6	3		5				1				
		Hydrochidae							1	1				
		Hydrophilidae	5	1	6	5		4	5			2		
		Lampyridae							1					
		Scirtidae			4	1		3	1					
		Staphylinidae		1	5	1		1			1			
		Ceratopogonidae			1	5								
		Chironomidae					1	5	2				2	
		Diptera	Limoniidae	2	2	1	2	2	2				1	1
			Tabanidae										1	
	Tipulidae			2		1		3				1		
	Baetidae					1								
	Euthyplociidae											1		
	Ephemeroptera	Leptohyphidae		1			1		2				1	
		Leptophlebiidae	19	11	32	11	3	10	13		6	4	2	
		Polymitarcyidae									1			
		Belostomatidae					1	5	3		1	1		
		Corixidae					11	6	3	1	1	1		
		Gerridae		2	3	3	2	2	2				4	
		Hydrometridae	1					1						
		Hemiptera	Mesoveliidae		1									
			Naucoridae	2			1					1		1
			Nepidae			3					1			1
	Notonectidae				1					1				
	Megaloptera	Veliidae	2	1									2	
		Corydalidae	1	2		4	1				2			
		Coenagrionidae	4	1	5	2				1				
	Odonata	Calopterygidae	1			1				1	2		1	
		Libellulidae	1	2	1		1	1	1	1	1		2	
		Gomphidae	7	4	12	5	4	4	2	5	5		4	
		Megapodagrionidae				1				4	2	1	3	
	Plecoptera	Perlidae		3						1	5	7	18	
		Calamoceratidae						2						
Glossosomatidae								1						
Trichoptera	Helicopsychidae	1			5				3		2			
	Hydropsychidae	21	3	2		1	1	1	1	1	5	4		
	Leptoceridae				1				1	3	1			
	Odontoceridae		1		1									
<u>Arachnida</u>	Trombidiformes	Erythraeidae	3	1				1						
		<u>Clitellata</u>	Tubificida	Naididae	2									
<u>Malacostraca</u>	Decapoda	Palaemonidae	9	17	2	43	19	13	26	4	10	17		
		Trichodactylidae	7	10	7	8	7	4	3	1	2	4		
<u>Mollusca</u>	Gastropoda	Oniscidea					1				1			
		Planorbidae	1											
		Total de individuos	104	75	95	136	78	81	91	46	56	68		
		Total de familias	21	22	18	28	21	23	26	20	19	17		

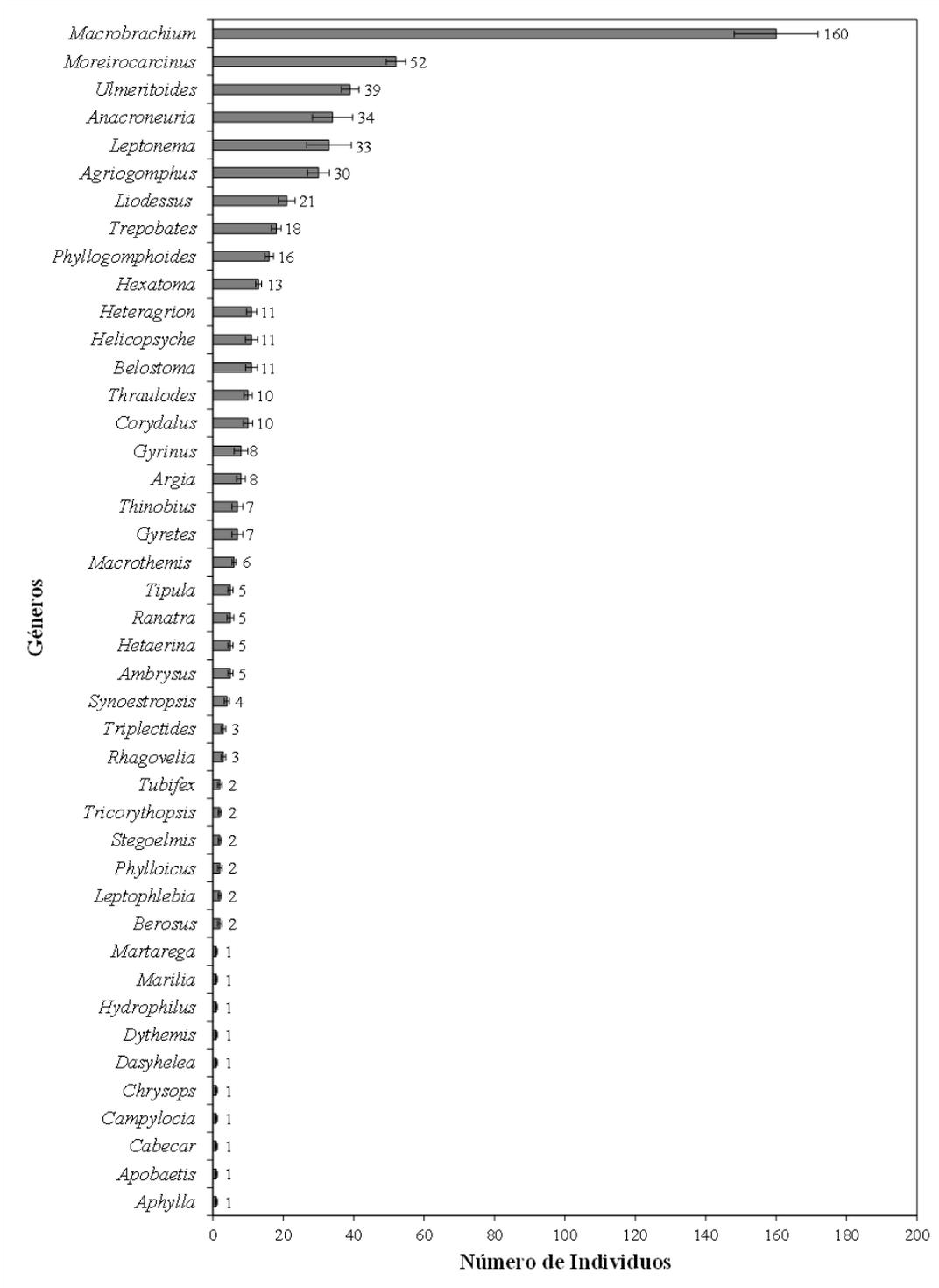


Anexo 4. Listado de asistencia a capacitaciones.

		LISTA DE ASISTENCIA				Código: GD_FO_02	
						Versión: 5	
						Vigente desde 24/06/2021	
OBJETIVO DEL EVENTO:	7ma Sesión - Identificación de macro invertebrados Acuáticos			ENCARGADO(S) O RESPONSABLE(S) DEL EVENTO			
				Nombre Completo		Oficina, Subdirección, Grupo, Dirección Territorial o Área Protegida	
		Federico Beltrán Hilarión		RNN Nukak			
NOMBRE DEL CONFERENCISTA (solo aplica para conferencias no para reuniones)	Luisa Tejada		TIPO DE REUNION:	Video conferencia <input checked="" type="checkbox"/>	Presencial <input type="checkbox"/>		
LUGAR DE LA REUNIÓN O LINK	meet.google.com/yvj-gfar-ouz		FECHA: 29/07/2022	HORA INICIO: 4 PM		HORA FIN: 5PM	
PARTICIPANTES							
No.	NOMBRE Y APELLIDO	ENTIDAD, GRUPO O ÁREA, OFICINA, FUNCIONAL, VEREDA U OTROS	CORREO ELECTRÓNICO	TELÉFONO	TIPO ASISTENCIA		FIRMA (Aplica para asistencia presencial)
					Presencial	Virtual	
1	Virginia Roa Angulo	Universidad El Bosque	roavirginia@unbosque.edu.co	3245676523		X	N/A
2	Yehison Dario Arias Fierro	RNN Nukak	pyrc.nukak@parquesnacionales.gov.co	3203426844		X	N/A
3	Santiago Cano Fuentes	Universidad El Bosque	scanof@unbosque.edu.co	3209460705		X	N/A
4	Federico Beltrán Hilarión	RNN Nukak	equipotecnico.nukak@parquesnacionales.gov.co	3185275908		X	N/A
4	Luisa Maria Tejada Henríquez	Universidad El Bosque	ltejada@unbosque.edu.co	3123736817		x	
5	Mónica Andrea Castillo	Universidad El Bosque	castillomonica@unbosque.edu.co	3168741625		X	
7	Hugo Ernesto Vargas Arevalo	RNN NUKAK	hugonesto@gmail.com	3168211052		X	N/A
8	Leyder Johan Covaleda Ramos	RNN Nukak	leyderjohan31@gmail.com	3212781772		X	
9							



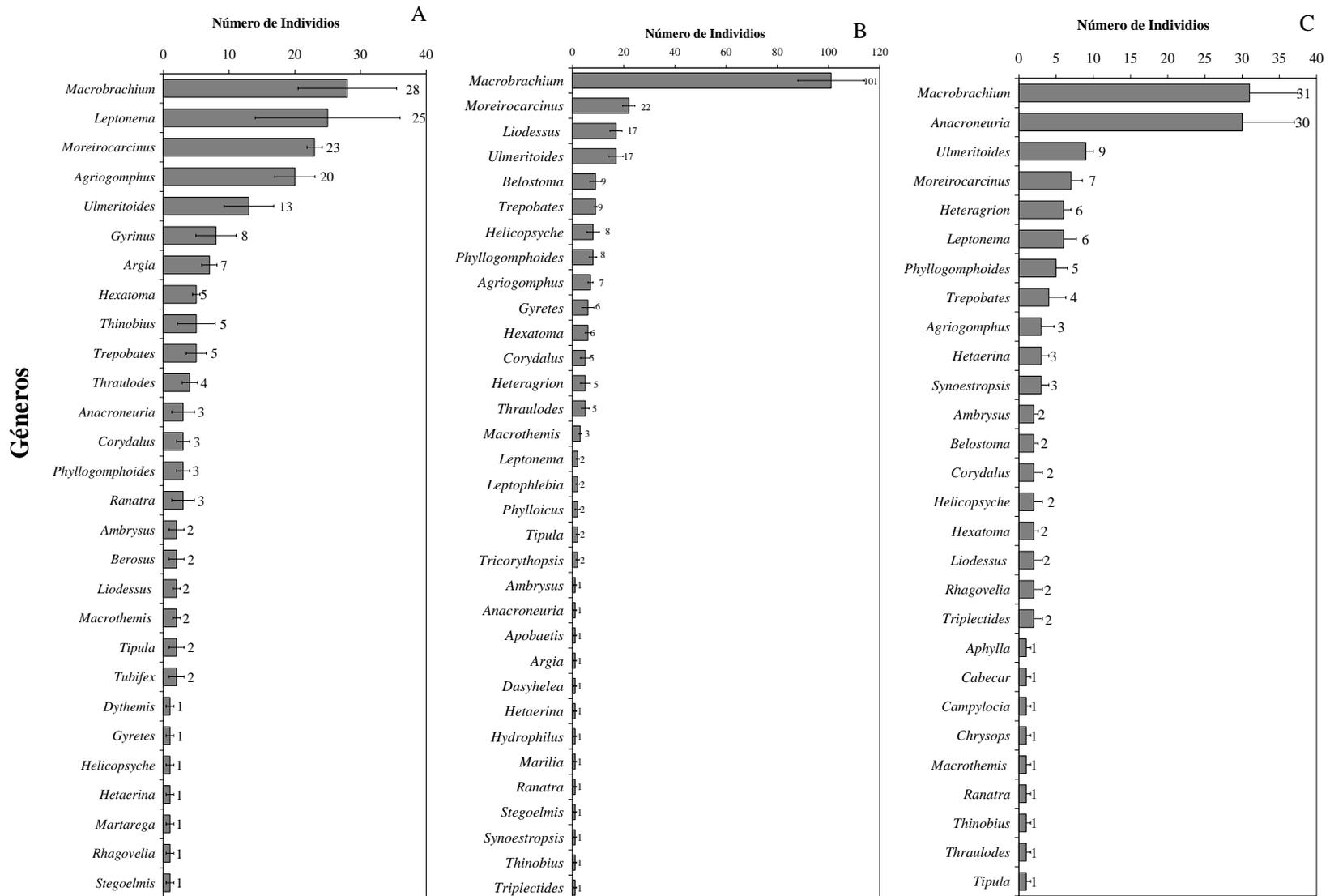
Anexo 5. Abundancia total de Géneros.



*Los organismos determinados hasta género representaron el 67.10% de las identificaciones.



Anexo 6. Géneros por estaciones de muestreo.



*Géneros de cada zona de muestreo A) caño Lavapatas, B) caño Palogrueso, C) caño Choapo.



Anexo 7. Cambios en el comportamiento del caudal entre periodos.

