O.N.G TIBOUCHINA

QUIMBAYA

INFORME TÉCNICO FINAL



COMPONENTE HÍDRICO

CONVENIO DE ASOCIACIÓN NO° CA-002 -2025.

PROYECTO:

MEJORAMIENTO DE LA SOSTENIBILIDAD Y CONOCIMIENTO DE LA OFERTA AMBIENTAL DE LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DEL MUNICIPIO DE QUIMBAYA

INFORME TÉCNICO FINAL

CONVENIO DE ASOCIACIÓN N° CA-002 DE 2025:

"AUNAR ESFUERZOS TÉCNICOS, ADMINISTRATIVOS, OPERATIVOS Y FINANCIEROS PARA EL INCREMENTO, SOSTENIBILIDAD Y CONOCIMIENTO DE LA OFERTA AMBIENTAL DE LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DEL MUNICIPIO DE QUIMBAYA"

OCTUBRE 2025

JUAN MANUEL RODRÍGUEZ BRITO
Alcalde
Municipio de Quimbaya

CRISTIAN EDUARDO RAMOS HERRERA
Secretario de Despacho de Competitividad y Desarrollo Agropecuario
Municipio de Quimbaya

MARIA LUDIBIA ARIAS GIRALDO
Subsecretaria de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural
Municipio de Quimbaya

DIANA VANESSA VÁSQUEZ GALVIS
Representante Legal
Corporación Ambiental, Cultural y Social Tibouchina

ANDRÉS FELIPE OROZCO-CARDONA
Coordinador Equipo Científico

Jheferson Herrera-Echeverry
COMPONENTE FENOLOGÍA

Alexis Marulanda-Andrade
COMPONENTE FLORA

Jean Wilman Parra
COMPONENTE AVIFAUNA

José Aníbal González-Naranjo
COMPONENTE MASTOFAUNA

Pablo Andrés Zanabria-Gil
COMPONENTE QUIRÓPTEROS

Natalia Pulgarín-Franco
COMPONENTE HÍDRICO

Laura Camila Herrera-López
COMPONENTE HERPETOS

Ricardo Soto-Agudelo
COMPONENTE HONGOS

Andrés Felipe Grajales-Andica
COMPONENTE INSECTOS

Angie Lorena Salazar-Oliveros
Valentina Rosero Marín
COMPONENTE EDUCACIÓN AMBIENTAL

Santiago Fernández-Ángel
Carol Tatiana Morales-Lotero
José David Quiñonez-Gómez
Daniela Giraldo-Otalvaro
Albert Ospina-Duque
Erika Julieth Sánchez-Rojas
Santiago David Leguizamón-Mesa
Juan Gabriel Arroyave-Zuluaga
Kevin Joseph López-Molina
Valeria Valencia-Agudelo
Luis Felipe Sánchez-Albarán
PROFESIONAL DE APOYO

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 7
INTRODUCCIÓN 8
JUSTIFICACIÓN 10
MARCO CONCEPTUAL 11
MARCO LEGAL 13
OBJETIVO DEL CONVENIO 18
OBJETIVOS 18
OBJETIVO GENERAL 18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO 19
DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS 20
COBERTURAS VEGETALES 22
METODOLOGÍA 28
Puntos de monitoreo hidrobiológico 28
- **Muestreo Hidrológico** 31
- **Muestreo Hidromorfológico** 32
- **Muestreo Hidrobiológico** 33
- **Análisis de calidad biológica del agua** 36

RESULTADOS 38
- **Hidrológico** 38
- **Hidromorfológico** 39
- **Hidrobiológico** 40
- **Análisis de calidad biológica del agua** 47

Índice BMWP(col) 47
CONCLUSIONES 49
RECOMENDACIONES 50
BIBLIOGRAFÍA 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las estaciones de monitoreo hidrobiológico de los predios Cajones y Quimbaya 29
Tabla 2. Características hidromorfológicas a evaluar 33
Tabla 3. Rangos de calidad hidromorfológica 33
Tabla 4. Clasificación de la calidad del agua y su significado ecológico de acuerdo con el BMWP/Col 36
Tabla 5. Variables in situ tomadas en cinco puntos de monitoreo hidrobiológico 38
Tabla 6. Datos registrados para la estimación de caudal, en cinco puntos de monitoreo hidrobiológico de los predios Cajones y Quimbaya 39
Tabla 7. Resultados obtenidos del índice de calidad hidromorfológica en los cinco puntos de monitoreo de los predios Cajones y Quimbaya 40
Tabla 8. Composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya 40
Tabla 9. Resultados Índice BMWP para las cinco estaciones de monitoreo presentes en los predios Cajones y Quimbaya 48

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 1. Vista general predios Cajones-Quimbaya. Autor: Andrés Felipe Orozco Cardona: 9
Figura 2. Paisaje de los predios Cajones-Quimbaya. Autor: José Aníbal González. 17
Figura 3. Mapa de localización de los predios Cajones y Quimbaya 20
Figura 4. Ecosistema de Bosque Húmedo Montano Bajo presente en los predios Cajones-Quimbaya. 21
Figura 5. Mapa de coberturas de vegetales de los predios Cajones y Quimbaya. 22
Figura 6. Toma aérea del Bosque Abierto. 23
Figura 7. Toma aérea del Guadual. 24
Figura 8. Toma aérea del Bosque Ripario. 25
Figura 9. Toma aérea del Herbazal. 26
Figura 10. Toma aérea del Helechal. 27
Figura 11. Puntos de monitoreo hidrobiológico de los predios Cajones y Quimbaya 28
Figura 12. Sección transversal de la quebrada, ancho del cauce y profundidad promedio. Ilustración tomada de: CRQ & Gobernación del Quindío (2022) 32
Figura 13. Longitud, definición del punto A al punto B. Ilustración tomada de: CRQ & Gobernación del Quindío (2022) 32
Figura 14. Método de colecta con red tipo Surber. 34
Figura 15. Fase de laboratorio separación, determinación y conteo de macroinvertebrados acuáticos. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Figura 16. Preservación de las muestras biológicas. Ilustración tomada de: Roldán (2003) **Error! Bookmark not defined.**
Figura 17. Abundancia de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya 42
Figura 18. Abundancia de familias de macroinvertebrados presentes en los predios Cajones y Quimbaya 43

Figura 19. Abundancia de morfoespecies de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya 44
Figura 20. Riqueza por estación de muestreo de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya 45
Figura 21. Abundancia por estación de muestreo de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya 45
Figura 22. Índice de Shannon para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en el predio Cajones y Quimbaya 46
Figura 23. Índice de dominancia de Simpson e Índice de Pielou para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya 47
Figura 24. Representantes de macroinvertebrados acuáticos presentes en las estaciones de monitoreo hidrobiológico de los predios Cajones-Quimbaya. **A.** *Leptohyphes* sp. (Leptohyphidae). **B.** *Oecetis* sp. (Leptoceridae). **C**. Tanypodinae Mf 1 (Chironomidae). **D**. *Americabaetis* sp. (Baetidae) ..... **Error! Bookmark not defined.**

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todas las personas e instituciones que hicieron posible la elaboración de este trabajo el cual registra las especies presentes en las áreas de conservación Cajones-Quimbaya, ubicadas en jurisdicción del municipio de Filandia.

A la Alcaldía de Quimbaya, por su apoyo y supervisión; a la señora María Teresa, por su amabilidad y disposición para facilitar la logística del proyecto en su vivienda.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos constituyen un complejo sistema de interacciones bióticas y abióticas que se desarrolla en diversos cuerpos de agua dulce o salada (Rodiles-Hernández *et al*., 2013). Siendo los ecosistemas dulceacuícolas de gran importancia ya que representan apenas el 2,5 % del total del agua que contiene el planeta y menos del 1% es apta para el consumo humano (Postel, 2007); esto debido a que se caracterizan por poseer un bajo nivel de salinidad y un ciclo hidrológico global que permite que se renueve (Darwall *et al*., 2018).

La región Andina se destaca por presentar una gran riqueza hídrica, resultado del descenso de las aguas provenientes de los páramos hacia los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, y, asimismo, al ser favorecida por las particularidades de la geomorfología del terreno, propician condiciones idóneas para albergar una gran diversidad de ecosistemas dulceacuícolas (Buytaert, 2004). Estos ecosistemas están experimentando grandes cambios en sus propiedades fisicoquímicas, de conectividad, y el uso del suelo que los rodea (Habit et al., 2019), ocasionando que las poblaciones de organismos acuáticos de agua dulce disminuyan a un ritmo más acelerado, en contraste con los entornos marinos y terrestres (Darwall *et al*., 2018).

Los aspectos biológicos de los ecosistemas acuáticos han cobrado cada vez mayor importancia en el monitoreo de su salud, ya que las variables fisicoquímicas solo ofrecen una proyección específica de la calidad del agua, pero no representan cómo cambia el ecosistema a lo largo del tiempo (Alba-Tercedor, 1996). Los elementos vivos de estos sistemas, como los macroinvertebrados, los peces, el fitoplancton y el zooplancton, son testigos de la degradación ambiental de las aguas superficiales donde habitan (Caicedo & Palacio, 1998). Por lo tanto, los cambios en la abundancia y la estructura de sus comunidades, al compararlas con sistemas hidrológicos de características similares, actúan como indicadores biológicos de la salud general de los ecosistemas acuáticos.

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que habitan el fondo de los cuerpos de agua, generalmente adheridos a las rocas, troncos y vegetación acuática. Sus poblaciones están constituidas principalmente por insectos (primariamente sus etapas larvarias), crustáceos, platelmintos y moluscos. Son perceptibles al ojo humano, ya que constan de un tamaño que va desde los 0.5 mm hasta los 5 mm aproximadamente (Roldán-Pérez, 2016). Su utilidad como bioindicadores radica en la amplia distribución que poseen en diversos hábitats acuáticos, así como la facilidad con la que pueden ser recolectados, permitiendo obtener datos representativos en investigaciones de biomonitoreo (Rosenberg & Resh, 1993). En los ecosistemas de aguas continentales, la diversidad, estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados son aspectos clave para determinar el estado de salud del cuerpo de agua. La presencia de

ciertos grupos, como los plecópteros, tricópteros y efemerópteros, suele estar relacionada con ambientes poco contaminados y de buena calidad (Roldán-Pérez, 2016).

En este sentido, dada la importancia de conocer y monitorear el estado actual de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios “Cajones” y “Quimbaya" adquiridos por la alcaldía de Quimbaya de acuerdo con el artículo 111 de la ley 99 de 1993, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar dichos organismos bioindicadores en cinco puntos de monitoreo hidrobiológico. De esta manera, la investigación representa un aporte valioso para promover la protección del recurso hídrico, y de igual manera, brindar insumos que faciliten la planificación, regulación, gestión y control de los ecosistemas acuáticos a nivel local y regional.



Figura 1. Vista general predios Cajones-Quimbaya. Autor: Andrés Felipe Orozco Cardona:

JUSTIFICACIÓN

El departamento del Quindío, destacado por su biodiversidad y riqueza hídrica, proporciona importantes servicios ambientales, siendo representados principalmente en la disponibilidad del recurso hídrico. No obstante, debido al crecimiento demográfico y al consiguiente aumento de actividades sociales, económicas y culturales, se han generado riesgos importantes para la calidad y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos (Lozano et al., 2003).

La unidad hidrográfica de la quebrada Buenavista no es ajena a las perturbaciones causadas por acciones antrópicas, pues experimenta una notable intervención debido a actividades principalmente agrícolas y pecuarias (PGAR, 2020). Lo que ha generado una potencial pérdida del recurso hídrico, que afecta no solo el consumo humano, sino también la diversidad de fauna y flora coexistente.

En este sentido, los ecosistemas acuáticos no se mantienen inmunes a las perturbaciones antrópicas; por el contrario, las alteraciones en el entorno circundante, como la deforestación, el vertido de aguas residuales, la erosión y la sedimentación, modifican sus características hidrológicas, fisicoquímicas y biológicas (Roldán & Ramírez, 2008). Así, los cambios en la composición de las comunidades acuáticas pueden reflejar el nivel de contaminación e impacto en el ecosistema acuático, dado que éstas pueden considerarse indicadores del grado de deterioro ambiental de las corrientes superficiales (Laws, 1981).

El muestreo hidrobiológico proporciona una herramienta clave para evaluar el estado ecológico de las fuentes hídricas, mediante el análisis de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Rincón-Bello *et al*., 2021). Puesto que, dichos organismos actúan como bioindicadores, permitiendo detectar cambios en la calidad del agua que no siempre pueden ser evidenciados mediante parámetros fisicoquímicos convencionales (Meza *et al*., 2012).

Por lo tanto, es importante obtener información actualizada sobre el estado de las fuentes hídricas presentes en los predios Cajones y Quimbaya, con el propósito de brindar insumos para la planificación y el manejo adecuado de los predios, especialmente en términos de conservación, restauración y manejo sostenible del recurso hídrico. Asimismo, contribuir al cumplimiento de las políticas ambientales nacionales e internacionales, en lo referente a la protección de los ecosistemas acuáticos.

MARCO CONCEPTUAL

El empleo de la bioindicación, y en particular el uso de organismos acuáticos como indicadores del estado de los ecosistemas hídricos, tiene sus orígenes en el siglo XIX. Investigadores europeos comenzaron a identificar una correlación entre la presencia de determinadas especies y la calidad del agua en la que habitaban (Roldán et al., 2016). Lo cual los llevó a establecer métodos de evaluación basados en el análisis de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en correlación con variables físicoquímicas, logrando la comprensión del estado ecológico de las fuentes hídricas, sentado las bases para una notable recuperación de estos ecosistemas durante las últimas décadas (Birk & Herring, 2006).

En Colombia, el conocimiento sobre la taxonomía de los macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos aún es incipiente. No obstante, se han venido realizando claves taxonómicas adaptadas al país, lo que ha permitido orientar los estudios de calidad del agua según las particularidades de los macroinvertebrados dulceacuícolas propios de la región (Roldán et al., 2016).

Monitoreo hidrobiológico

El muestreo hidrobiológico es una herramienta fundamental en el monitoreo ambiental, ya que permite evaluar la composición, estructura y dinámica de las comunidades biológicas presentes en los ecosistemas acuáticos. A través del monitoreo hidrobiológico es posible identificar cambios en la calidad del agua, detectar fuentes de contaminación y establecer medidas de manejo y conservación de los recursos hídricos. Su implementación permite complementar los análisis fisicoquímicos y obtener una perspectiva más amplia del impacto ambiental sobre los cuerpos de agua (Roldán, 2003; Encalada *et al.*, 2011).

Bioindicación y calidad del agua

Al analizar la calidad del agua en términos generales, se recurre comúnmente a estudios fisicoquímicos para identificar el nivel de alteración de los parámetros examinados (Roldán, 2003). Sin embargo, es importante considerar que la limitación de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos radica en que proporcionan datos puntuales y no reflejan las condiciones o impactos previos que el ecosistema haya podido experimentar (Abril & Parra, 2007).

La bioindicación se basa en la respuesta diferencial de los organismos a factores de alteración ambiental (Encalada *et al.*, 2011). En este sentido, los organismos que habitan los ecosistemas dulceacuícolas están influenciados por las propiedades físicas y

químicas del agua. Por ello, el análisis de la composición y estructura de la biota acuática permite evaluar la calidad del agua (Machado, 1988).

Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores

Se consideran macroinvertebrados los organismos que, por su tamaño relativamente grande, son visibles al ojo humano, constando de un tamaño promedio no muy inferiores a 0,5 mm., pero generalmente mayores a 3 mm. La gran mayoría corresponde a grupos de artrópodos (principalmente formas larvarias de insectos), y otros organismos invertebrados como: oligoquetos, hirudíneos, moluscos, celentéreos y platelmintos (Aguirre *et al.*, 2012).

Desde hace varias décadas los macroinvertebrados acuáticos han sido reconocidos como indicadores biológicos para evaluar la calidad del agua en corrientes superficiales (Lorenz, *et al.,* 1997). Dicho grupo es ampliamente usado en monitoreos hidrobiológicos por la sensibilidad que poseen a alteraciones del medio, la amplia distribución y abundancia, la fácil recolección y la capacidad para reflejar cambios en el tiempo, permitiendo un análisis integral de la salud del ecosistema acuático (Álvarez, 2005; Roldán et al., 2016).

Diversidad de comunidades acuáticas y calidad del agua

Los índices de diversidad se basan en la aplicación de fórmulas matemáticas que integran tres aspectos fundamentales de la estructura de una comunidad biológica: la riqueza, que hace referencia al número de especies presentes; la equitatividad, que indica qué tan equitativamente se distribuyen los individuos entre las diferentes especies; y la dominancia, que corresponde a la proporción de la abundancia de especies dominantes en una comunidad. Al considerar estos datos, es posible obtener una estimación del estado ambiental del hábitat acuático (Birk & Herring, 2006;Roldan, 2016).

La diversidad de la comunidad biológica se toma como un indicador de la calidad del agua, ya que, en hábitats sometidos a presión por contaminación, es común encontrar pocas especies dominantes con muchos individuos. En contraste, en ambientes con condiciones naturales, suele haber una mayor variedad de especies, cada una representada por un número reducido de individuos (Roldan, 2016).

MARCO LEGAL

La Constitución Política Colombiana de 1991, es resultado del ejercicio del poder soberano del pueblo colombiano. En esta se estipula principios generales relacionados directamente con lo ambiental, buscando la consolidación de los recursos naturales, como fundamentales para el desarrollo económico de la nación, resaltando la importancia de la consideración, manejo y conservación del medio ambiente y de los recursos que provee a través de los siguientes artículos.

MARCO CONSTITUCIONAL		
Artículo	**Comentario**	**Relación con AIECRH**
Artículo 2	Fin esencial del Estado: servir a la comunidad y prosperidad general.	Base para función ecológica y servicio público de agua.
Artículo 8	Protección de riquezas naturales y culturales.	Mandato general de conservación.
Artículo 58	Función social y ecológica de la propiedad.	Permite adquisición de AIECRH por utilidad pública.
Artículo 70	Fomento a ciencia y tecnología en planes de desarrollo.	Respaldar investigación en cuencas.
Artículo 79	Derecho a un ambiente sano y participación ciudadana.	Justifica consultas en compra de predios.
Artículo 80	Planificación y manejo sostenible de recursos naturales.	Marco para PGAR, PORH.
Artículo 311	Competencias municipales en servicios públicos y ordenamiento.	Municipio responsable de proteger fuentes hídricas.
Artículo 313	Concejos dictan normas para patrimonio ecológico.	Base de acuerdos municipales sobre AIECRH.
Artículo 315	Alcalde dirige acción administrativa.	Garantiza ejecución del 1 %.

Normatividad asociada a las metas y actividades propuestas que dan cumplimiento a los principios generales ambientales contenidos en la Constitución Política Colombiana y otras disposiciones.

MARCO LEGAL		
LEYES		
Ley	**Comentario**	**Relación con AIECRH**
Ley 2 de 1959	Economía forestal de la Nación.	Declara Zonas Forestales Protectoras.
Ley 23 de 1973	Facultades para Código de RR.NN.	Prevención y control contaminación.
Ley 99 de 1993	Crea Min Ambiente; art.111 (1 % para AIECRH).	Norma central para compra de predios hídricos.
Ley 115 de 1994	Educación ambiental obligatoria.	Soporta programas de sensibilización.
Ley 164 de 1994	Convención Marco de la ONU Cambio Climático.	Compromisos de adaptación.
Ley 165 de 1994	Convenio Diversidad Biológica.	Conservación in situ.
Ley 388 de 1997	Ordenamiento Territorial.	Integra determinantes ambientales.
Ley 373 de 1997	Programa uso eficiente del agua.	Eficiencia demanda–oferta.
Ley 489 1998	Principio de coordinación interinstitucional.	Facilita convenios CRQ–Municipio.
Ley 629 de 2000	Protocolo de Kyoto.	Mitigación y sumideros hídricos.
Ley 1151 de 2007	PND 2006-2010 (vigencia histórica).	Introdujo metas iniciales de 1 %.
Ley 1333 de 2009	Procedimiento sancionatorio ambiental.	Sanciones por impacto en AIECRH.
Ley 1450 de 2011	PND 2010-2014; art. 210 refuerza art. 111.	Amplía finalidad de compra de áreas.
Ley 1454 de 2011	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial.	Armoniza POT con determinantes hídricas.
Ley 1523 de 2012	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo.	AIECRH como medida de reducción de riesgo hídrico.

Ley 1753 de 2015	PND 2014-2018.	Mantiene inversión en áreas estratégicas.
Ley 1819 de 2016	Impuesto al carbono (20 % restauración).	Financia manejo de predios.
Ley 1844 de 2017	Acuerdo de París.	NDC incorpora protección hídrica.
Ley 1930 de 2018	Gestión integral de páramos.	Prioriza cuencas de páramo proveedoras de agua.
Ley 1931 de 2018	SISCLIMA.	Lineamientos adaptación y PES.
Ley 2056 de 2020	Reforma regalías (regalías verdes).	Recursos para restauración hídrica.
Ley 2111 de 2021	Delitos ambientales.	Tipifica daño a áreas protegidas y fuentes.
Ley 2173 de 2021	Programa Árboles para la Vida.	Obliga restauración de 1 ha por periodo.
Ley 2294 de 2023	PND 2022-2026; Cuota Verde y Azul.	Amplía financiación AIECRH.
DECRETOS		
Decreto	**Comentario**	**Relación con AIECRH**
Decreto/Ley 2811 de 1974	Código Nacional de RR.NN.	Marco general de ambiente.
Decreto 622 de 1977	Sistema de Parques Nacionales.	Categorías de manejo.
Decreto 1449 de 1997	Protección y conservación de suelos.	Obligaciones de propietarios.
Decreto 1681 de 1978	Recursos hidrobiológicos.	Pesca en cuencas.
Decreto 1594 de 1984	Usos del agua y vertimientos.	Calidad hídrica en predios.
Decreto 309 de 2003	Investigación científica sobre biodiversidad.	Permisos en predios.
Decreto 1200 de 2004	Instrumentos de planificación ambiental (PGAR).	Guía a CRQ.
Decreto 1323 de 2007	Sistema de Información Recurso Hídrico (SIRH).	Registra AIECRH.
Decreto 2372 de 2010	Sistema Nacional de Áreas Protegidas.	Categorías y registro.

Decreto 1640 de 2012	Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico.	Zonificación y caudales.
Decreto 0953 de 2013	Reglamenta art.111 Ley 99; obliga partida 1 %.	Ejecución presupuestal.
Decreto 0954 de 2014	Monitoreo de caudal ecológico.	Garantía de abastecimiento.
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Sector Ambiente.	Integra SINAP artículos.
Decreto 870 de 2017	Pagos por Servicios Ambientales.	Incentivos para conservación.
Decreto 092 de 2017	Contratación con entidades sin ánimo de lucro.	Instrumento para ONG gestionando predios.
Decreto 1007 de 2018	Inversiones art. 108 Ley 99 (mantenimiento predios).	Apoyo técnico CRQ.
Decreto 328 de 2022	Ajusta PES (mod. 870).	Pago por resultados.
RESOLUCIONES		
Resolución	**Comentario**	**Relación con AIECRH**
Resolución 909 de 2008	Parámetros vertimientos a cuerpos de agua.	Calidad hídrica.
Resolución 0192 de 2014	Listado especies amenazadas.	Referencia para restauración.
Resolución 0377 de 2021	Lineamientos planes de restauración ecológica.	Guía técnica en predios.
POLÍTICAS		
Política	**Comentario**	**Relación con AIECRH**
CONPES 3866 de 2016	PNGIRH 2016-2030.	Meta hectáreas AIECRH.
CONPES 4034 de 2021	Política Nacional de PES.	Armoniza con art. 111.
ACUERDOS, PLANES Y/O CONVENIOS		
Acuerdo, Plan y/o Convenio	**Comentario**	**Relación con AIECRH**
Acuerdo 013 de 2000	PBOT Quimbaya; política ambiental hídrica (art.22).	Fundamento compra predios Cajones.

PBOT DRMI ajustes (Acuerdos 012/2007, 030/2011)	Declaratoria DRMI Río Quindío.	Incluye áreas municipales.
Acuerdo 011 de 2019	Sistema Municipal de Áreas Protegidas SIMAP.	Exenciones y actores.
Acuerdo 005 de 2020	Modificación PBOT: zona de protección hídrica.	Alinea con CRQ determinantes.
Plan Desarrollo 2020-23	Quimbaya Mejor para Todos: diagnóstico AIECRH.	Incluye Cajones y Quimbaya.
Plan Manejo Predios Quimbaya-Cajones 2018	Objetivos restauración y monitoreo.	Instrumento operativo.
Convenio coadministración 2022	Gobernación–Alcaldía–CRQ; PES y recursos.	Gestión conjunta de predios.



Figura 2. Paisaje de los predios Cajones-Quimbaya. Autor: José Aníbal González.

OBJETIVO DEL CONVENIO

Aunar esfuerzos técnicos, administrativos, operativos y financieros para el incremento, sostenibilidad y conocimiento de la oferta ambiental de las Áreas de Conservación y Manejo del municipio de Quimbaya.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones-Quimbaya”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características hidromorfológicas de los cinco puntos de monitoreo seleccionados en los afluentes de los predios Cajones-Quimbaya
- Medir el caudal en cinco puntos de monitoreo hidrobiológico de los predios Cajones-Quimbaya
- Registrar datos fisicoquímicos *In situ* en los cinco puntos de muestreo hidrobiológico
- Describir la composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes en los puntos de muestreo.
- Determinar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a las estaciones de monitoreo hidrobiológico presente en los predios Cajones-Quimbaya.
- Evaluar la calidad ecológica del agua a partir del ensamblaje y la diversidad de macroinvertebrados acuáticos, mediante la aplicación del Índice BMWP

ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se define como las modificaciones en el clima que suceden durante largos períodos, ya sea impulsada por factores naturales o actividades antrópicas. Estas transformaciones impactan de manera significativa a los ecosistemas y a las especies que los habitan (Milner *et al*., 2017). El cambio climático constituye un serio desafío para el equilibrio ambiental del planeta, la biodiversidad y el desarrollo sostenible de la humanidad. Afectando principalmente el ciclo hidrológico, los patrones de temperatura global y el aumento de la acidificación (Huang *et al*., 2021).

Es así como, el cambio climático constituye una amenaza cada vez mayor para los ecosistemas acuáticos, ya que representa una influencia directa sobre las características fisicoquímicas, hidrológicas y biológicas de los cuerpos de agua (Arya, 2021). Alteraciones en los regímenes de precipitación, variaciones en la temperatura del agua, frecuencia de eventos extremos (sequías o lluvias intensas) y cambios en los patrones de escorrentía y caudal, pueden transformar de manera trascendental la estructura y funcionamiento de las comunidades acuáticas (Dudgeon *et al*., 2010).

En este sentido, los monitoreos hidrobiológicos deben incorporar una orientación de escenario de cambio climático que permita analizar no solo el estado actual de los ecosistemas, sino también su vulnerabilidad y capacidad de respuesta ante nuevas condiciones ambientales (Harada *et al*., 2023). Este enfoque implica tener en cuenta variables climáticas proyectadas, así como patrones de variabilidad interanual e indicadores de alteración ecológica asociada al cambio global (Milner *et al*., 2017).

La integración de este enfoque en los monitoreos permite identificar de forma temprana pérdida de especies sensibles, alteraciones en los ciclos de vida, posibles desplazamientos en la composición y abundancia de las comunidades biológicas, o la aparición de especies oportunistas asociadas a condiciones degradadas (Huang *et al.*, 2021). Asimismo, proporciona información de relevancia que permita comparar escenarios futuros, facilitando la formulación de estrategias de adaptación y manejo de las cuencas hidrográficas.

Por tal razón, para el departamento del Quindío, donde las fuentes hídricas desempeñan un papel importante en la provisión de servicios ecosistémicos, la regulación climática y la biodiversidad, incluir el componente climático en los programas de monitoreo hidrobiológico se vuelve clave para garantizar una gestión integral de los ecosistemas acuáticos frente a los desafíos del cambio climático.

DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS

Los predios Cajones y Quimbaya forman parte de las áreas de importancia estratégica para la conservación del recurso hídrico. Están ubicados en la vereda Fachadas, en el municipio de Filandia. Espacialmente, el predio limita al norte con la coordenada 4°39'59.84"N, al sur con 4°39'40.09"N, al este con -75°40'16.72"O, y al oeste con -75°40'42.41"O. El predio Quimbaya tiene un área de 13.142 ha, el predio Cajones tiene un área de 11.281 ha, en total el área presenta una extensión de 24.423 ha. Estas áreas están destinadas exclusivamente a la preservación de los recursos naturales, en especial el agua, y provee valiosos servicios ecosistémicos como la regulación del clima, del ciclo hidrológico y de los suelos, así como el aprovisionamiento del recurso hídrico para el municipio de Quimbaya. La cobertura vegetal predominante corresponde a guaduales, seguida por bosque secundario, áreas reforestadas y pastos enmalezados.

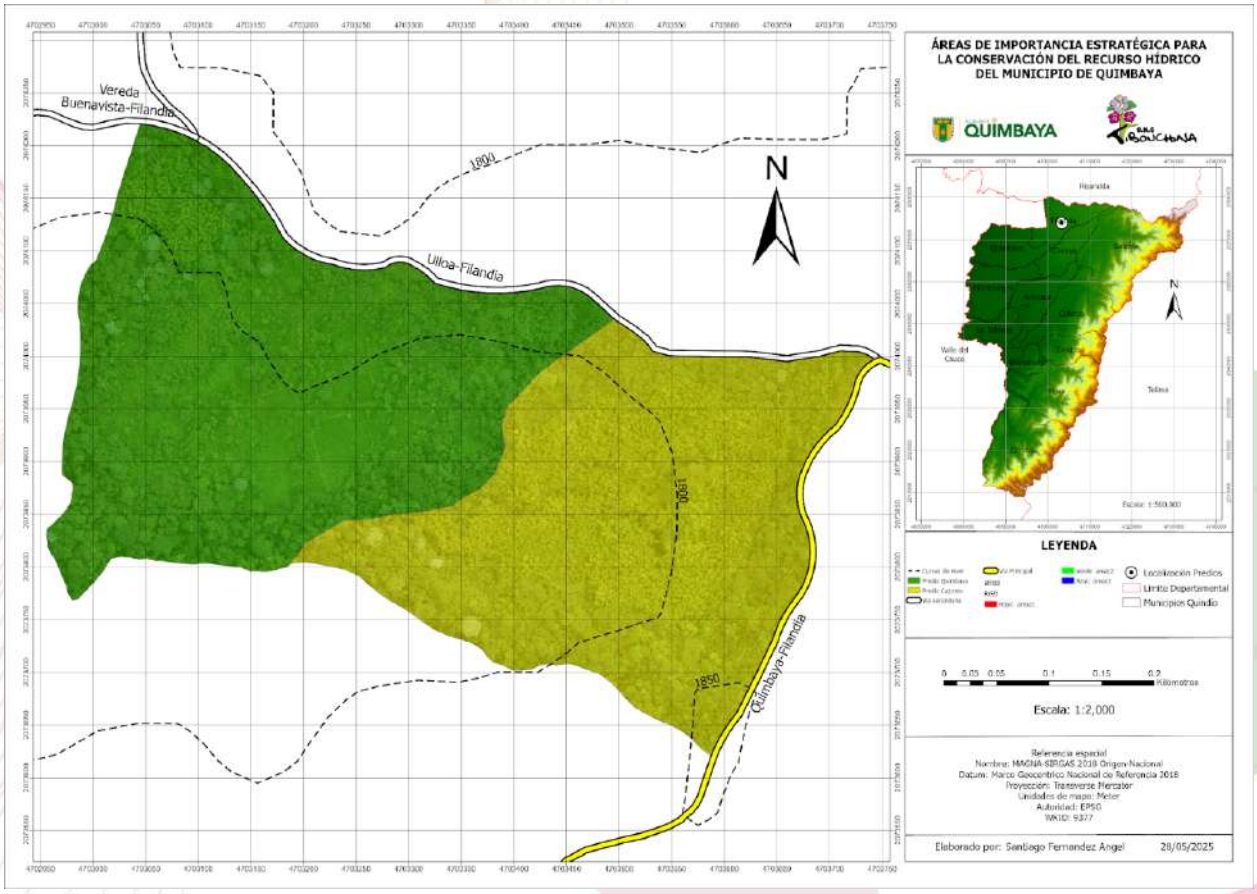


Figura 3. Mapa de localización de los predios Cajones y Quimbaya.

El relieve del área presenta un pendiente promedio del 47,11 % (equivalente a aproximadamente 25,25°), determinada a partir de una diferencia altitudinal de 375 metros entre los puntos más bajo (1478 m s. n. m.) y más alto (1853 m s. n. m.), a lo largo de una distancia horizontal de 796 metros, lo que evidencia una topografía fuertemente inclinada, típica de zonas de recarga hídrica en ecosistemas andinos.

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge adaptada para Colombia, el ecosistema presente en los predios Cajones y Quimbaya corresponde a un Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB). Esta zona de vida se caracteriza por ubicarse entre los 1000 y 2000 m s. n. m., con una precipitación anual superior a los 2000 mm y temperaturas medias entre 12 y 18 °C. Estas condiciones favorecen una alta diversidad biológica y funcional, siendo un ecosistema clave para la regulación hídrica, la protección del suelo y el mantenimiento de procesos ecológicos esenciales en la región andina. La vegetación predominante, como guaduales y bosques secundarios, es coherente con esta zona de vida, que suele presentar una alta productividad biológica y ser prioritaria para acciones de conservación y restauración ecológica.



Figura 4. Ecosistema de Bosque Húmedo Montano Bajo presente en los predios Cajones-Quimbaya.

COBERTURAS VEGETALES

En el área de estudio se identifican cinco (5) coberturas vegetales principales. Cuatro de ellas corresponden a las tipologías establecidas en la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia, la cual permite una clasificación estandarizada del territorio con base en características estructurales y funcionales de la vegetación. Estas coberturas son: bosque ripario, bosque abierto, herbazal y helechal. La quinta cobertura, aunque no está incluida dentro de la clasificación oficial del *Corine Land Cover*, corresponde a guadual, una formación vegetal predominada por especies del género *Guadua*, cuya presencia es significativa tanto ecológica como culturalmente en la región andina, particularmente en el departamento del Quindío, donde forma parte del paisaje tradicional del Paisaje Cultural Cafetero Colombiano (PCCC) (***Figura 5***).

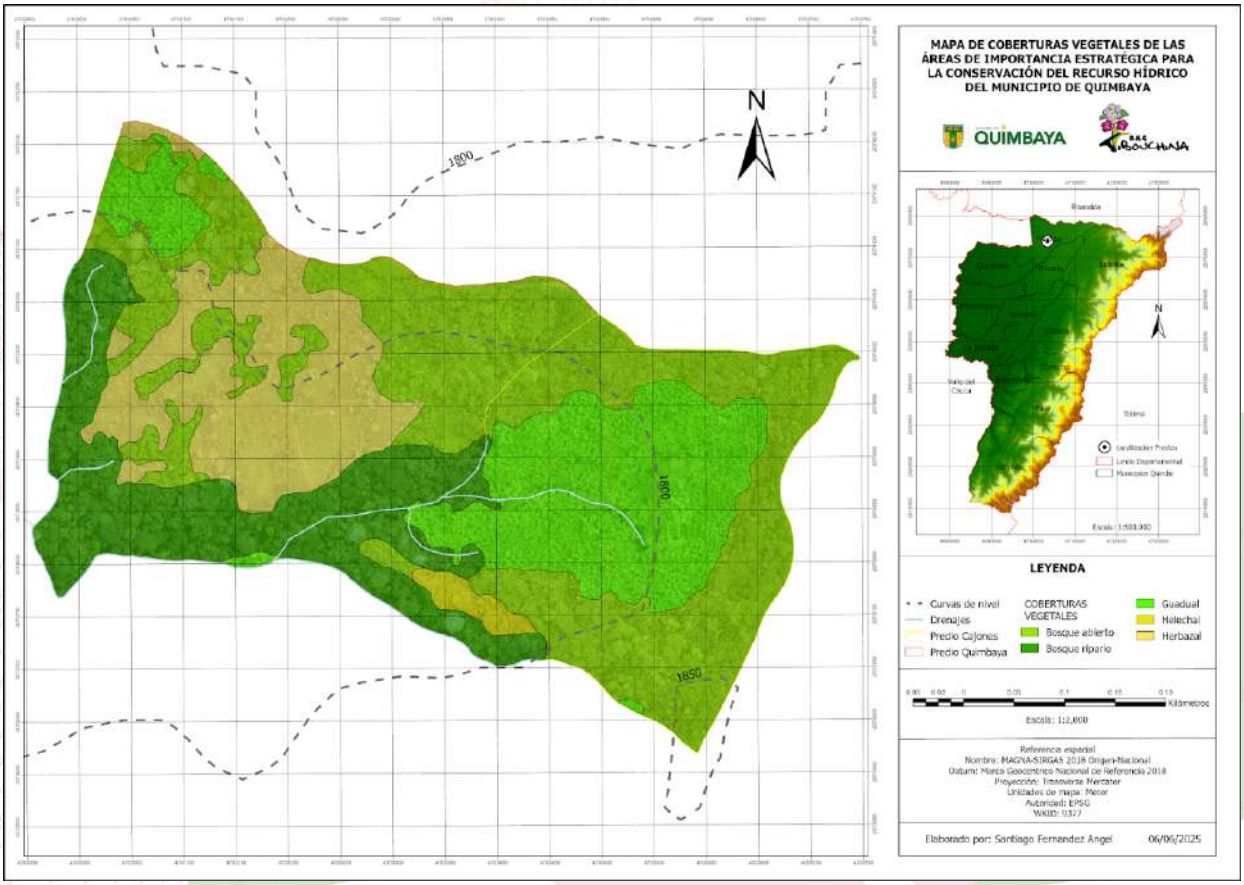


Figura 5. Mapa de coberturas de vegetales de los predios Cajones y Quimbaya.

Las coberturas vegetales fueron clasificadas y cuantificadas mediante análisis SIG, con los siguientes resultados ordenados de mayor a menor extensión:

1. Bosque abierto: Esta cobertura corresponde a formaciones arbóreas con copas abiertas, cuya densidad foliar es inferior al 70%, lo que permite una mayor penetración de luz al sotobosque. Generalmente, estas áreas se asocian a bosques secundarios, en procesos de regeneración natural o con grados variables de intervención antrópica. Su valor ecológico es alto, ya que funcionan como hábitat para diversas especies de fauna, actúan como corredores biológicos y mantienen importantes reservas de biodiversidad. En el área de estudio, la presencia de bosque abierto obedece, en gran medida, a procesos continuos de restauración ecológica implementados por la administración municipal desde la adquisición de los predios, lo que evidencia una recuperación progresiva de la cobertura forestal y sus funciones ecosistémicas (**Figura *6***).



Figura 6. Toma aérea del Bosque Abierto.

2. Guadual: Aunque el guadual no está incluido formalmente en la metodología *Corine Land Cover*, se trata de una formación vegetal relevante y distintiva del paisaje del Quindío, compuesta principalmente por especies del género *Guadua*. Los guaduales desempeñan un papel fundamental en la prestación de servicios ecosistémicos como la estabilización de taludes, la regulación del régimen hídrico, la captura de carbono y la provisión de materiales renovables. Además, representan un componente clave de la identidad cultural y de la arquitectura tradicional en el contexto del Paisaje Cultural Cafetero (PCC). En los predios analizados, los guaduales crecen en forma de colonias, con una distribución expansiva desde la adquisición de los terrenos. No obstante, en su interior se observa el establecimiento natural de especies arbóreas que, con el tiempo, podrían superar en altura y densidad a la guadua, promoviendo un control natural de su propagación y una transición hacia formaciones forestales más complejas (**Figura 7**).



Figura 7. Toma aérea del Guadual.

3. Bosque ripario: Ubicado a lo largo de los márgenes de la red hídrica, el bosque ripario constituye un corredor ecológico de gran importancia para la conectividad del paisaje, la conservación de cuencas hidrográficas y la regulación natural de eventos como inundaciones y erosión. Esta cobertura incluye especies vegetales propias de los ecosistemas de bosque montano húmedo, siendo el *yarumo blanco* (*Cecropia telenitida*) una de las especies más representativas. En este caso particular, el bosque ripario se encuentra asociado al área de ronda y acotamiento de la quebrada Buenavista, presentando características de bosque secundario en proceso de maduración, lo cual refuerza su rol como zona de protección ambiental y refugio de biodiversidad (**Figura *8***).



Figura 8. Toma aérea del Bosque Ripario.

4. Herbazal: El herbazal está conformado por formaciones vegetales dominadas por gramíneas y otras especies herbáceas, típicamente localizadas en áreas con antecedentes de uso agropecuario, pastoreo o abandono de cultivos. Estas zonas representan fases tempranas de sucesión ecológica y pueden actuar como reservorios de regeneración vegetal si se les permite evolucionar naturalmente. En el área de estudio, los herbazales presentan un claro predominio del pasto imperial (*Axonopus scoparius*) y algunas especies arbóreas dispersas, que indican un potencial para procesos de revegetalización asistida. Esta cobertura requiere intervenciones específicas de restauración, orientadas al establecimiento de especies forestales nativas que refuercen las funciones ecológicas del ecosistema y mejoren su conectividad (**Figura *9***).



Figura 9. Toma aérea del Herbazal.

5. Helechal: Esta cobertura, aunque de reducida extensión, está conformada por helechos que prosperan en ambientes con alta humedad relativa y sombra constante. Los helechales pueden actuar como microhábitats para fauna especializada y constituyen indicadores ecológicos de condiciones edáficas específicas. Sin embargo, en el área de estudio, la densidad excesiva de esta vegetación puede limitar la regeneración natural de otras especies, debido a la escasa entrada de luz y competencia por nutrientes. Por tanto, se recomienda realizar acciones de manejo ecológico que favorezcan la diversificación estructural del sotobosque y permitan la germinación y establecimiento de especies leñosas nativas que enriquezcan la cobertura vegetal (**Figura *10***).



Figura 10. Toma aérea del Helechal.

Este análisis permite caracterizar la estructura del paisaje y sirve como insumo técnico fundamental para procesos de planificación territorial, conservación de ecosistemas y definición de estrategias de manejo sostenible del suelo y la vegetación.

METODOLOGÍA

Puntos de monitoreo hidrobiológico

En la **Figura 11** se presenta la ubicación geográfica de los puntos de monitoreo hidrobiológica para los predios Cajones y Quimbaya; distribuyéndose dos puntos de monitoreo sobre la quebrada Buenavista y tres puntos de muestreo adicionales sobre afluentes representativos presentes en los predios. En la Tabla 1, se detallan las características de los cuerpos de agua evaluados.

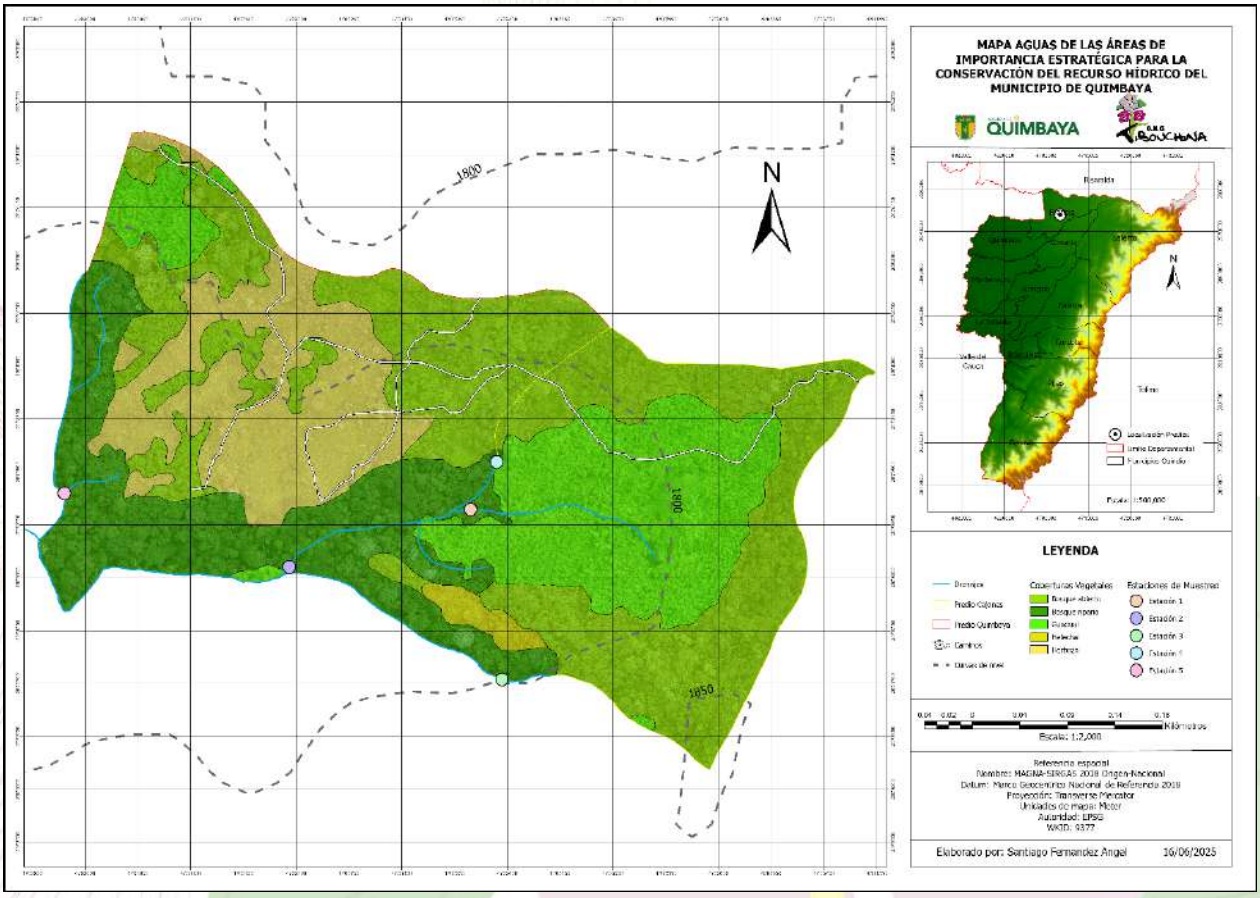


Figura 11. Puntos de monitoreo hidrobiológico de los predios Cajones y Quimbaya

Tabla 1. Descripción de las estaciones de monitoreo hidrobiológico de los predios Cajones y Quimbaya

Estación 1	**Coordenadas:** 4,663406 N; -75,674736 W	**Predio:** Cajones	**Municipio:** Filandia - Quebrada Buenavista
Punto de muestreo sobre la quebrada Buenavista. Presenta condiciones normales de olor y color. El sustrato está compuesto principalmente por lodo y hojarasca. El cuerpo de agua posee una vegetación circundante propia de bosque ripario, resaltando la presencia de especies como: Guamo (*Inga sp.), Mestizo (Cupania americana),* dulumoco (*Saurauia ursina*) y palma cola de pescado (*Caryota* sp.).			
Estación 2	**Coordenadas:** 4,662967 N; -75,676289 W	**Predio:** Cajones	**Municipio:** Filandia - Quebrada Buenavista
Punto de monitoreo sobre la quebrada Buenavista, presenta agua cristalina; sustrato rocoso-arenoso. Se encuentra rodeada de bosque ripario, destacando la presencia de especies vegetales como palma cola de pescado (*Caryota* sp.), helecho palma (*Cyathea* sp.), tripillo (*Philodendron longirrhizum*) y dulumoco (*Saurauia ursina*).			

Estación 3	**Coordenadas:** 4,661938 N; -75,674420 W	**Predio:** Cajones	**Municipio:** Filandia
Estación de monitoreo asociada a afluente innominado presente en el predio Cajones. El Cuerpo de agua posee una profundidad de aproximadamente 0.25 m. Aguas claras, el sustrato está constituido principalmente por hojarasca y lodo. En la zona adyacente al sitio de muestreo se evidencian especies vegetales de porte arbustivo y arbóreo característico de bosque ripario. Aguas arriba del punto de monitoreo se hallan mangueras de una canalización inactiva.			
Estación 4	**Coordenadas:** 4,663822 N; -75,674428 W	**Predio:** Cajones	**Municipio:** Filandia
Afloramiento con flujo laminar bajo, sustrato compuesto por lodo, piedras y hojarasca. Agua de aspecto claro e inoloro. La vegetación que rodea el cuerpo de agua es propia de bosque ripario.			
Estación 5	**Coordenadas:** 4,663511 N; -75,678169 W	**Predio:** Quimbaya	**Municipio:** Filandia
Punto de monitoreo asociado a afluente innominado presente en el predio Quimbaya. Agua clara e			

inolora, sustrato rocoso-lodoso. Vegetación circundante característica de bosque ripario. En la parte alta del afluente se observó presencia de mangueras posiblemente asociada a captación de agua.	

- **Muestreo Hidrológico**

La toma de muestras *in situ* se realizó para cada punto de monitoreo, siguiendo los procedimientos de calibración y medición de los parámetros en campo establecidos por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24 st edition, 2023. Se llevó a cabo cinco réplicas para la toma de datos fisicoquímicos y caudales, donde se midió el Oxígeno disuelto (mg/L), Temperatura (°C), Conductividad (µS/cm), pH, Ancho (m), Profundidad (m), velocidad de corriente y caudal. Finalmente, los datos obtenidos se promediaron y se registraron en los formatos de campo determinados.

Medición de caudal

La medición de caudal se realizó basada en la "Guía metodológica: Monitoreo de los recursos naturales en los predios para la conservación de recursos hídricos adquiridos por los entes territoriales" (CRQ & Gobernación del Quindío, 2022). De este modo, en los puntos de monitoreo hidrobiológico se seleccionó una sección transversal en lo posible uniforme y cuya longitud fue de aproximadamente 2 metros de largo. Seguidamente, se tomaron medidas de ancho del cauce y profundidad del mismo (Figura 12) y se midió la Velocidad del agua (V) por medio de un ping pon, a partir de contabilizar el tiempo con un cronómetro de lo que el ping pon se demora del punto A al B (Figura 13), se registró cinco veces para la toma de datos, y posteriormente se promedió.

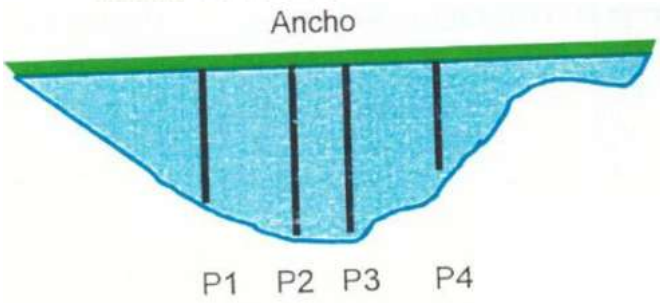


Figura 12. Sección transversal de la quebrada, ancho del cauce y profundidad promedio. Ilustración tomada de: CRQ & Gobernación del Quindío (2022)

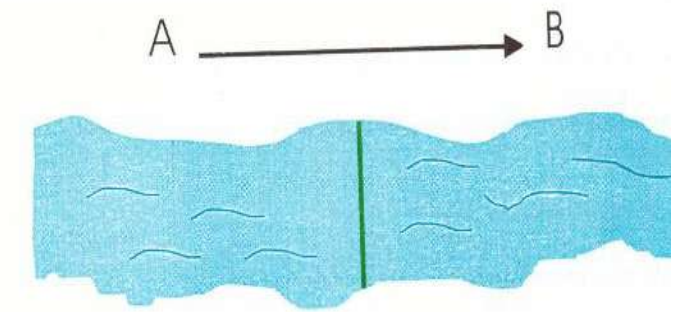


Figura 13. Longitud, definición del punto A al punto B. Ilustración tomada de: CRQ & Gobernación del Quindío (2022)

A continuación, se presentan las fórmulas para calcular el caudal:

Velocidad encontrada: distancia AB/ Tiempo

Velocidad corregida: Velocidad encontrada x 0.85 (constante K)

Área de la selección transversal = Ancho del cauce X profundidad promedio

Caudal Q: Velocidad corregida X Área de la selección transversal

- **Muestreo Hidromorfológico**

Se realizó una caracterización hidromorfológica de acuerdo con el "Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)", siendo una evaluación cualitativa, donde se tienen en cuenta ocho aspectos relacionados con la naturalidad del canal del cuerpo del agua y la vegetación ribereña (Tabla 2), asignando valores de 0 a 5, los cuales permiten establecer unos criterios de calificación para cada uno de los elementos evaluados de manera in situ (Tabla **3**) (Encalada *et al.*, 2011).

Contribuyendo a un análisis más integral del estado en el que se encuentra el entorno natural circundante al afluente y el cauce fluvial en función de su grado de naturalidad.

Tabla 2. Características hidromorfológicas a evaluar

ELEMENTOS A EVALUAR
Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera
Continuidad de la vegetación de ribera a lo largo del río
Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacente o próximo.
Presencia de basuras y escombros
Naturalidad del canal Fluvial
Composición del sustrato
Regímenes de velocidad y profundidad del río
Elementos de heterogeneidad

Fuente: Encalada et al. (2011)

Tabla 3. Rangos de calidad hidromorfológica

Rangos	Nivel de calidad
>35	Excelente
29- 35	Buena
21-28	Moderada
11-20	Mala
0-10	Pésima

Fuente: Encalada et al. (2011)

- **Muestreo Hidrobiológico**

La metodología de muestreo y análisis que se llevó a cabo para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos está basada en lo descrito en Standard Methods, ed. 23 (Baird, Eaton & Rice, 2017). A continuación, se realiza una descripción de la fase de campo y fase de laboratorio para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos.

Fase de campo

Macroinvertebrados acuáticos

Se empleó el método cuantitativo con red Surber (Roldán & Ramírez, 2008) con área de 90 cm^2 y ojo de malla de 500 µm. Se seleccionaron transectos en lo posible de 100 m por cada punto de muestreo y sobre los diferentes tipos de sustrato (roca, hojarasca, sedimento fino), se ubicó la red en contra de la corriente y se removió el sustrato ubicado

dentro del cuadrante de 30 x 30 cm (figura 14), con 7 réplicas por estación (Usseglio-Polaterra, Bournaud, Richoux, & Tachet, 2000). Las muestras recolectadas fueron identificadas en el sitio y posteriormente liberadas.



Figura 14. Método de dentificacióncon red tipo Surber.

Para la determinación taxonómica, se emplearon las claves y descripciones de Roldán (2003), Muñoz-Quesada (2004), Domínguez & Fernández (2009), Hamada, Thorp, & Rogers (2018) y se tomaron fotografías bajo estereomicroscopio, para así tener registro de las especies capturadas. El material obtenido fue preservado en tubos de vidrio debidamente etiquetados, con toda la información sobre datos de ocurrencia como sitio de muestreo, coordenadas, fecha de recolección e información taxonómica.

Luego de realizar la determinación de cada una de las morfoespecies presentes, se realizó un conteo del número de individuos por cada morfoespecie, para calcular la densidad de organismos por metro cuadrado.

Utilizando la ecuación: Densidad=N1/N2

N1= Número de individuos contados por morfoespecie

N2= Área de monitoreo en m^2

Análisis de datos

Para el análisis de datos se tuvo en cuenta la composición, riqueza y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos evaluadas en cada estación de muestreo. A continuación, se presenta de manera más detallada los análisis.

Índices de diversidad

- *Diversidad alfa*

Para describir la estructura de la comunidad se emplea la abundancia relativa y los índices alfa de riqueza y de estructura (Shannon-Wiener, Simpson, equidad). Para evaluar la diversidad de las comunidades hidrobiológicas, se aplican los siguientes índices mediante el paquete estadístico Past Program 4.04.

El índice de Shannon-Wiener

Tiene en cuenta la equidad de la muestra, es decir que tiene en cuenta la abundancia de todas las especies y es independiente del tamaño de la muestra (Moreno, 2001); se calcula con la siguiente ecuación:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \log P_i$$

Donde pi es la proporción de individuos de cada especie en el número total de organismos en la muestra.

Este índice da resultados de 0.0-5.0 bits/individuo; valores de 0.0-1.5 bits demuestran aguas muy contaminadas, de 1.5-3.0 bits/individuo, medianamente contaminadas; y 3.0-5.0 bits/individuos, aguas muy limpias (Roldán & Ramírez, 2008).

El índice de Dominancia de Simpson

Está influenciado por la importancia de las especies más dominantes de la muestra (Moreno, 2001); este dato se puede hallar de las siguientes maneras:

$$\lambda = \sum(P_i)^2 \text{ (1)}$$

$$\lambda' = \frac{\sum n_i(n_i-1)}{n_i(n_i-1)} \text{ (2)}$$

1: Índice de dominancia para una comunidad infinita.
2: Índice de dominancia para una comunidad finita.

Este índice varía entre 0 y 1; cuando los valores obtenidos tienden a 0, la diversidad es alta, pero cuando los valores son iguales a 1 existe un individuo dominante (Roldán & Ramírez, 2008). Como el índice de Simpson (λ) refleja el grado de dominancia en una comunidad, la diversidad de esta puede calcularse como **Diversidad = 1 - *λ***.

El índice de Equidad o Uniformidad de Pielou

Mide la proporción de la diversidad observada con la máxima diversidad esperada (Moreno, 2001). Se calcula de la siguiente manera:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde *H´max* = Ln (*S*).

- **<u>Análisis de calidad biológica del agua</u>**

Índice BMWP para macroinvertebrados acuáticos (Biological Monitoring Working Party).

El BMWP modificado para Colombia por (Roldan, 2003), es un método sencillo que permite evaluar la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados como bioindicadores. El método requiere llegar taxonómicamente hasta el nivel de familia, y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Los datos del índice BMWP se correlacionan con cinco grados de contaminación y con cinco colores que representan la calidad de las aguas como se muestra en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Clasificación de la calidad del agua y su significado ecológico de acuerdo con el BMWP/Col

Valor del índice BMWP/Col	Clase	Calidad	Condición
> 120	I	Buena	Aguas muy limpias
101 - 120			Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible
61 - 100	II	Aceptable	Son evidentes algunos efectos de contaminación
36 - 60	III	Dudosa	Aguas contaminadas
16 - 35	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas
< 16	V	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas

Fuente: Roldán (2003)

RESULTADOS

- **Hidrológico**

Las variables fisicoquímicas comprenden un elemento importante para analizar la calidad del agua, siendo esenciales para identificar impactos específicos. No obstante, para evaluación integral, su análisis debe ir acompañado del estudio hidrobiológico. Por esta razón, en el presente trabajo se tuvieron en cuenta variables in situ tales como, caudal, pH, Temperatura, Oxígeno disuelto y Conductividad, siendo parámetros significativos que pueden afectar la presencia y desarrollo de especies bioindicadoras (macroinvertebrados, peces, perifiton y zooplancton), y por ende, la salud del ecosistema acuático.

Datos fisicoquímicos *in situ*

Los datos fisicoquímicos obtenidos para los cinco puntos de monitoreo hidrobiológico presentes en los predios Cajones y Quimbaya, en términos generales fueron consistentes y óptimos para el desarrollo de los organismos dentro de los cuerpos de agua (tabla 5). El pH osciló entre 6,42 a 7,3 unidades, lo que sugiere que las aguas son principalmente neutras, estos valores son congruentes con lo reportado en ambientes similares de los Andes colombianos (González-Córdoba et al. 2020). Los niveles de oxígeno disuelto fueron similares entre sí y adecuados para el desarrollo de organismos acuáticos en las fuentes hídricas (Mayarí *et al*., 2005). La temperatura también mostró valores que fluctuaron entre 18,4 a 19,2, lo cual se encuentra dentro de los rangos esperados de acuerdo con la altitud de la zona. Finalmente, los valores de conductividad registrados en los cinco puntos de monitoreo se ubican dentro del rango óptimo (50 a 1000 µS/cm) para consumo humano (Solís-Castro *et al*., 2017).

Tabla 5. Variables *In situ* tomadas en cinco puntos de monitoreo hidrobiológico

Variables *in situ*	Predio Cajones				Predio Quimbaya
	E1 Q. Buenavista	E2 Q. Buenavista	Estación 3	Estación 4	Estación 5
pH	7,3	6,42	6,61	6,54	6,58
Oxígeno disuelto (mg/L)	6,42	6,17	5,74	5,31	5,86
Temperatura (°C)	19,3	18,4	18,91	17,76	18,72

Variables *in situ*	Predio Cajones				Predio Quimbaya
	E1 Q. Buenavista	E2 Q. Buenavista	Estación 3	Estación 4	Estación 5
Conductividad (µS/cm)	112	148	72,1	106	98,3

E: Estación, **Q:** Quebrada

Medición de caudal

Se tomaron cinco réplicas por punto, registrando un valor promedio para cada una de las variables, con el propósito de estimar el caudal promedio en los sitios de monitoreo. De esta manera, se reportaron valores de caudal que oscilaron entre 14,34 L/seg en la Estación 4, siendo el valor más bajo; y 60,20 L/seg en el punto E2 de la Quebrada Buenavista (Tabla 6), como el punto de monitoreo con mayor caudal. Las variaciones en los resultados de caudal pueden estar relacionada con la ubicación específica del punto de muestreo y factores geográficos.

Tabla 6. Datos registrados para la estimación de caudal, en cinco puntos de monitoreo hidrobiológico de los predios Cajones y Quimbaya

Estaciones	Profundidad promedio (m)	Ancho del cauce (m)	Velocidad Promedio (m/seg)	Velocidad Corregida (m/seg)	Caudal (m^3/seg)	Caudal corregido (L/seg)
E1 Q. Buenavista	0,17	1,40	0,1254	0,1066	0,0250	21,31
E2 Q. Buenavista	0,45	0,90	0,2075	0,1764	0,0708	60,20
Estación 3	0,30	0,85	0,1187	0,1009	0,0253	21,50
Estación 4	0,23	1,70	0,0505	0,0429	0,0168	14,34
Estación 5	0,19	1,05	0,2068	0,1758	0,0352	29,97

E: Estación, **Q:** Quebrada

- **Hidromorfológico**

Respecto a lo evaluado mediante el índice de calidad hidromorfológica, en la Tabla 7 se puede evidenciar que las estaciones de monitoreo presentan en términos generales una buena calidad, es decir, la naturalidad del canal de los afluentes evaluados y la vegetación ribereña, aportan elementos de relevancia para la preservación del ecosistema dulceacuícola. En este sentido, el presente índice nos permitió evaluar de manera objetiva y rápida la calidad del entorno como primera medida de salud del

ecosistema acuático, adquiriendo mayor importancia al contrastarlo con los parámetros fisicoquímicos y resultados hidrobiológicos.

Tabla 7. Resultados obtenidos del índice de calidad hidromorfológica en los cinco puntos de monitoreo de los predios Cajones y Quimbaya

Estación	Puntuación	Nivel de calidad
E1 Q. Buenavista	33	Buena
E2 Q. Buenavista	36	Excelente
Estación 3	32	Buena
Estación 4	33	Buena
Estación 5	34	Buena

E: Estación, **Q:** Quebrada

- **Hidrobiológico**

Se realizó la caracterización de macroinvertebrados acuáticos en cinco estaciones de monitoreo presentes en afluentes asociados a los predios Cajones y Quimbaya, donde se realizó un conteo total de 764 individuos distribuidos en 11 órdenes los cuales se encuentran agrupados en 32 familias y 44 morfoespecies (tabla 8).

Tabla 8. Composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya

CLASE	ORDEN	FAMILIA	TAXA	E1 Q. Buena vista	E2 Q. Buena vista	E 3	E 4	E 5	Total general
Clitellata	Haplotaxida	Naididae	Naididae Mf1.	0	8	17	3	0	28
Collembola	Collembola	-	Collembola Mf1.	0	0	2	2	0	4
Gastropoda	Basommatophora	Ancylidae	Ancylidae Mf1.	0	0	0	1	0	1
		Planorbidae	Planorbidae Mf1.	0	0	1	0	0	1
Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	Dytiscidae Mf1.	0	0	0	1	0	1
		Elmidae	Elmidae Mf1.	0	0	0	0	1	1
			Heterelmis sp. 1	3	5	1	2	3	14
			Xenelmis sp. 1	0	2	0	0	4	6
		Ptilodactylidae	*Anchytarsus* sp. 1	1	0	0	0	6	7
	Diptera	Ceratopogonidae	*Atrichopogon* sp. 1	0	1	0	0	0	1
			Bezzia sp. 1	8	9	15	0	6	38
		Chironomidae	Chironomidae Mf1.	0	2	6	2	1	11
			Chironominae Mf1.	41	96	62	65	25	289
			Orthocladiinae Mf1.	2	9	6	0	4	21
			Tanypodinae Mf1.	10	47	14	14	1	86
		Dixidae	Dixidae Mf1.	0	2	2	0	2	6

CLASE	ORDEN	FAMILIA	TAXA	E1 Q. Buena vista	E2 Q. Buena vista	E 3	E 4	E 5	Total general
		Psychodidae	Psychodidae Mf1.	0	0	1	1	0	2
		Simuliidae	*Simulium* sp. 1	0	4	2	0	2	8
		Tipulidae	*Limonia* sp. 1	0	7	0	0	0	7
			Ormosia sp. 1	0	0	8	0	1	9
	Ephemeroptera	Baetidae	*Americabaetis* sp. 1	32	38	15	9	0	94
			Baetodes sp. 1	0	0	0	0	3	3
		Leptohyphidae	*Leptohyphes* sp. 1	0	6	5	0	4	15
			Tricorythodes sp. 1	8	0	0	0	1	9
		Leptophlebiidae	*Farrodes* sp. 1	7	4	1	0	7	19
	Hemiptera	Gerridae	Gerridae Mf1.	0	1	0	0	0	1
		Naucoridae	*Limnocoris* sp. 1	1	0	0	0	0	1
			Naucoridae Mf1.	0	0	0	0	1	1
		Veliidae	*Rhagovelia* sp. 1	5	4	6	0	0	15
	Odonata	Aeshnidae	*Aeshna* sp. 1	0	0	0	1	0	1
		Calopterygidae	*Hetaerina* sp. 1	0	1	1	0	0	2
		Coenagrionidae	*Argia* sp. 1	0	2	4	4	2	12
		Gomphidae	*Archaeogomphus* sp. 1	0	5	0	0	0	5
		Libellulidae	*Sympetrum* sp. 1	0	0	0	0	1	1
	Trichoptera	Calamoceratidae	*Phylloicus* sp. 1	4	6	2	0	0	12
		Hydropsychidae	*Smicridea* sp. 1	0	0	2	0	5	7
		Hydroptilidae	*Cerasmatrichia* sp. 1	0	0	0	1	0	1
		Leptoceridae	*Nectopsyche* sp. 1	0	4	4	0	0	8
			Oecetis sp. 1	0	4	1	0	0	5
		Limnephilidae	Limnephilidae Mf1.	0	0	0	3	0	3
		Philopotamidae	*Chimarra* sp. 1	0	0	5	0	0	5
		Xiphocentronidae	*Xiphocentron* sp. 1	0	1	0	0	0	1
Malacostraca	Decapoda	Trichodactylidae	Trichodactylidae Mf1.	0	0	1	0	0	1
Turbellaria	Tricladida	Dugesiidae	*Girardia* sp. 1	0	0	0	0	1	1
Total general				**122**	**268**	**184**	**109**	**81**	**764**

E: Estación, **Q:** Quebrada, **Mf:** Hace referencia a los organismos (morfotipos) que no se lograron determinar hasta la categoría taxonómica de género

El órden Diptera fue el más representativo con una abundancia de 478 individuos, seguido de Ephemeroptera con 140 individuos (figura 17). En este sentido, los dípteros se destacan por su amplia distribución y la capacidad de colonizar variedad de hábitat. Desempeñan diversas funciones ecológicas, como la transferencia de energía dentro del ecosistema y la descomposición de materia orgánica. Además, ciertas especies pueden

actuar como indicadores útiles del estado de los ecosistemas acuáticos y de la calidad del agua (Merritt & Cummins, 2019; Rodríguez *et al*., 2021).

En cuanto a Ephemeroptera como el segundo orden más significativo en términos de abundancia, se distinguen por poseer un estadio ninfal acuático muy prolongado, en contraste a su fase adulta donde tiende a ser corta; de pocas horas o días. Las ninfas de efeméróptera suelen habitar cuerpos de agua dulce bien oxigenadas como ríos, quebradas y arroyos (Domínguez *et al.*, 2006), por lo cual cumplen un papel fundamental como indicadores de la salud de un ecosistema, debido a la sensibilidad que presentan a la contaminación, especialmente a la reducción de oxígeno disuelto y al exceso de materia orgánica (Alba-Tercedor, 2014).

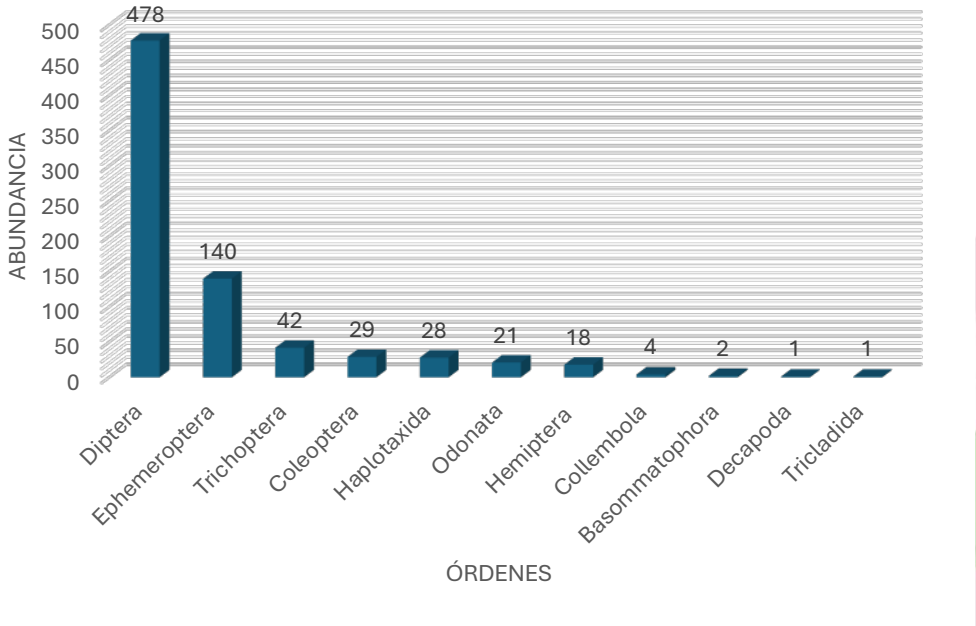


Figura 15. Abundancia de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya

Respecto a las familias, Chironomidae fue el grupo que más individuos aportó al muestreo con un total de 407 y Baetidae con 97 individuos (figura 18). Es así como, la familia Chironomidae se encuentra entre los insectos más abundantes en ecosistemas de agua dulce. Se destacan por la capacidad de colonizar diversos hábitats acuáticos, desempeñando un rol esencial en las cadenas tróficas, puesto que consumen una amplia variedad de materia orgánica, desde fibras vegetales, (madera y hojas) hasta restos de otros invertebrados (Oviedo-Machado & Reinoso-Flórez, 2018; Orozco *et al.*, 2005).

Asimismo, se constituyen como una fuente de alimento para peces, anfibios, aves e incluso otros macroinvertebrados (Rodríguez et al., 2004)

Por otro lado, la familia Baetidae como la segunda familia que más individuos aportó al estudio, se caracterizan porque pueden encontrarse en variedad de hábitats, desde rápidos hasta charcas, y en casi todos los microhábitats posibles, incluyendo rocas, hojarasca y restos leñosos (Zuñiga *et al.,* 2004). Algunas especies pertenecientes a dicha familia no toleran aguas poco oxigenadas, mientras que otras pueden vivir en aguas con bajos niveles de oxígeno (Flowers & De la Rosa, 2010). La mayoría de las ninfas se alimentan de materia orgánica suspendida en la columna del agua o depositada en el sustrato, mientras que otras pueden ser raspadoras de algas (Vásquez *et al*., 2009).

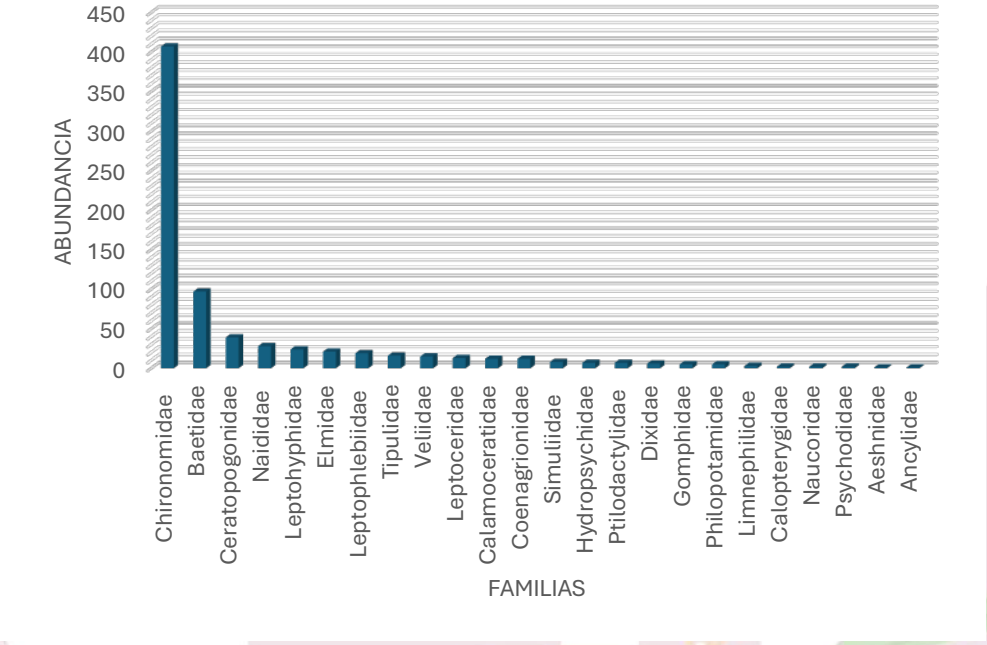


Figura 16. Abundancia de familias de macroinvertebrados presentes en los predios Cajones y Quimbaya

En cuanto a morfoespecies, Chironominae Mf1 fue la más abundante con una representatividad de 289 indiviudos, seguido de *Americabaetis* sp. con 94, y Tanypodinae Mf1 con 86 individuos (figura 19). En este sentido, la subfamilia Chironominae se distingue por su amplia distribución y su capacidad de tolerar cierto grado de contaminación, pudiéndose hallar en aguas con alto contenido de materia orgánica.

Americabaetis sp. como la segunda morfoespecie más representativa se caracteriza por poseer un amplio rango altitudinal y una clara distribución en el Neotrópico. Es común en sistemas lóticos como ríos, quebradas o arroyos; donde actúan como colectoras, alimentándose principalmente de materia orgánica en suspensión, perifiton y detritos. De

este modo, contribuyen a los procesos de descomposición y reciclaje de materia en los ecosistemas acuáticos (Salles & Boldrini, 2008).

Por otra parte, Tanypodinae Mf 1 como el tercer morfotipo que más individuos aportó al estudio, se destaca de igual manera por presentar una amplia distribución en diversos habitas acuáticos, no obstante, suelen ser menos tolerantes a sitios contaminados en contrate con la subfamilia Chironominae (Oviedo-Machado & Reinoso-Flórez, 2018). Son generalmente depredadores y nadadores libres (Liévano & Ospina, 2007).

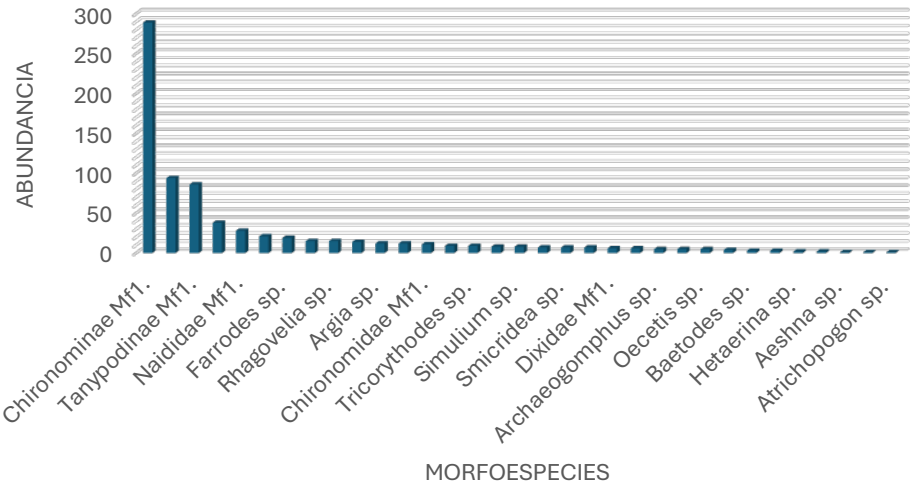


Figura 17. Abundancia de morfoespecies de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya

Índices de diversidad

La diversidad de macroinvertebrados en los cuerpos de agua constituye un indicador clave para analizar la calidad de los ecosistemas acuáticos, ya que proporciona información sobre las condiciones ambientales, la conformación del hábitat y el grado de alteración antrópica.

En este sentido se encontró que, para la diversidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya, las estaciones que presentaron mayor riqueza y abundancia fue la estación E2 Q. Buenavista y la Estación 3 (Figura 20 y 21), en contraste a la estación E1 Q. Buenavista que fue la que menor especies reportó, con 12 especies (figura 20), y la Estación 5 con la menor abundancia, con 81 individuos (figura 21). Cabe mencionar que, estas variaciones de la riqueza especialmente en los puntos de monitoreo de la quebrada Buenavista, se puede deber a las condiciones específicas del punto de muestreo, ya que E2 Q. Buenavista se encuentra ubicada en la parte media

de la quebrada y, asimismo, es tributada por dos drenajes sencillos aguas arriba del punto de monitoreo, en contraste a la estación E1 Q. Buenavista la cual se halla en la parte alta de la quebrada, y por lo tanto la capacidad de carga es menor.

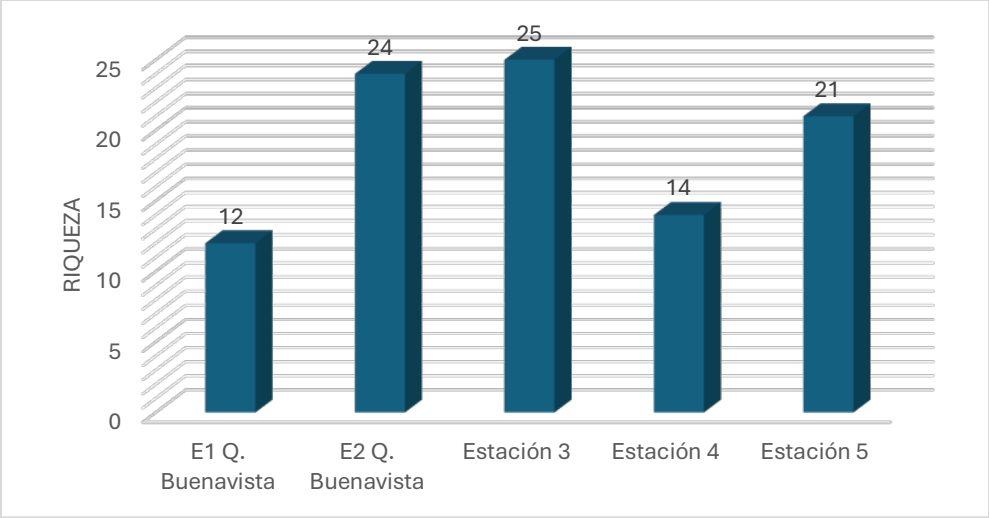


Figura 18. Riqueza por estación de muestreo de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya

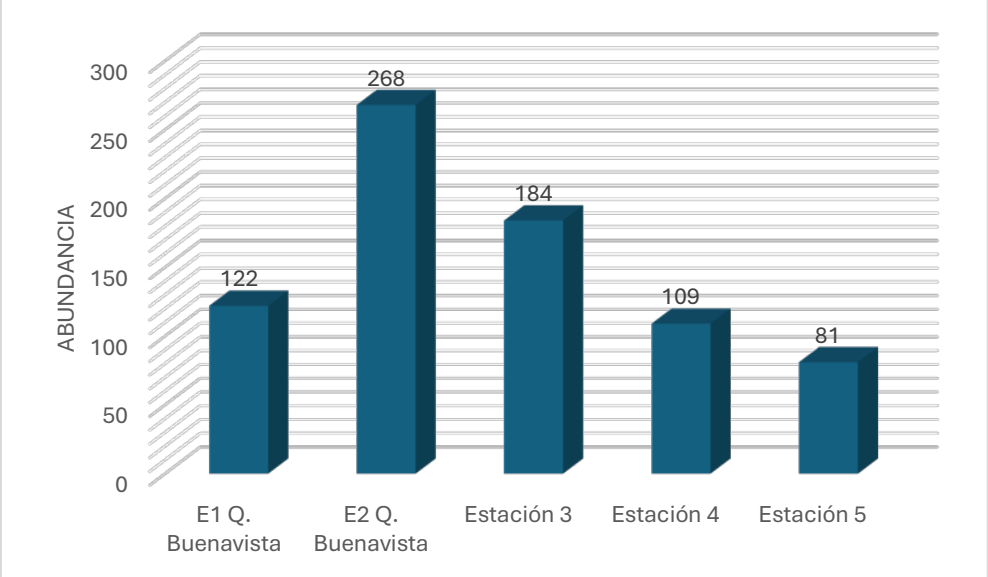


Figura 19. Abundancia por estación de muestreo de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya

Por otra parte, para la diversidad de Shannon los valores oscilaron entre 1,59 y 2,65 bits/ind reflejando una diversidad media para la comunidad de macroinvertebrados

acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya, siendo la estación 5 con el mayor valor, seguido de la Estación 3 (figura 22). Los resultados obtenidos son coherentes con las características del sistema, ya que, al tratarse de afluentes pequeños, su capacidad para albergar una alta diversidad de macroinvertebrados es menor en contraste a cuerpos de agua más grandes. Adicionalmente, estos resultados son consistentes con lo reportado en otros estudios realizados en cuerpos de agua con características similares (Gomez & Alvarez, 2011; Young, K., 2016; CRQ, 2024).

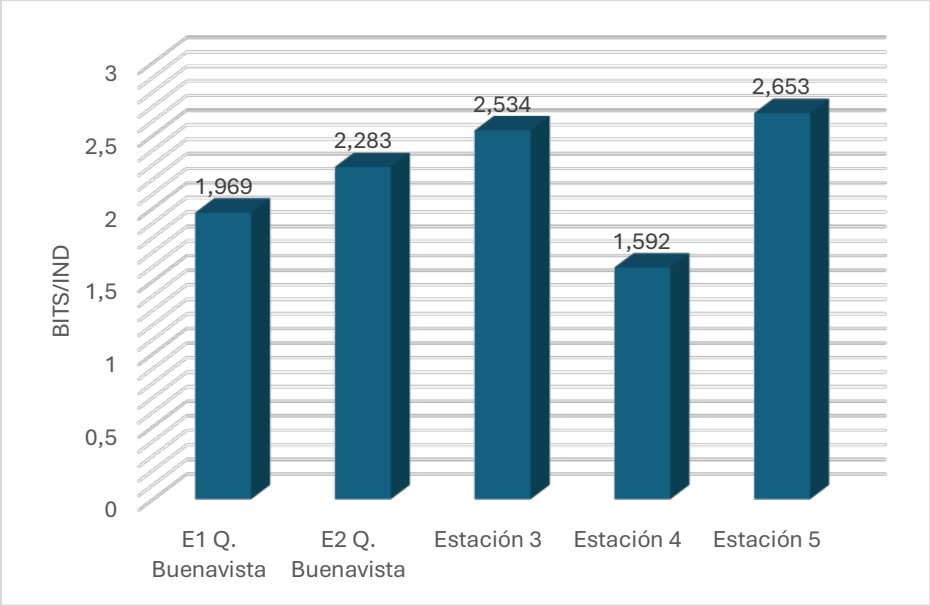


Figura 20. Índice de Shannon para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en el predio Cajones y Quimbaya

En cuanto a los valores de dominancia la Estación 4 es la que registra el valor más alto con 0,37 Unidades (figura 23), indicando que no hay una predominancia significativa de pocos géneros en las estaciones de monitoreo. A su vez, los valores del índice de Equidad o Uniformidad de Pielou oscilaron entre 0,58 Unidades y 0,83 Unidades (figura 23), evidenciando que la comunidad se comporta de manera equitativa frente a las densidades, lo que sugiere que los cuerpos de agua en términos generales se encuentran en buen estado. De este modo, los datos reflejan las condiciones propias de los afluentes, puesto que se caracterizaron por poseer poca intervención antrópica, una densa cobertura de vegetación ribereña y una variedad de hábitats y sustratos dentro del cauce, condiciones que propician el establecimiento y abundancia de organismos acuáticos.

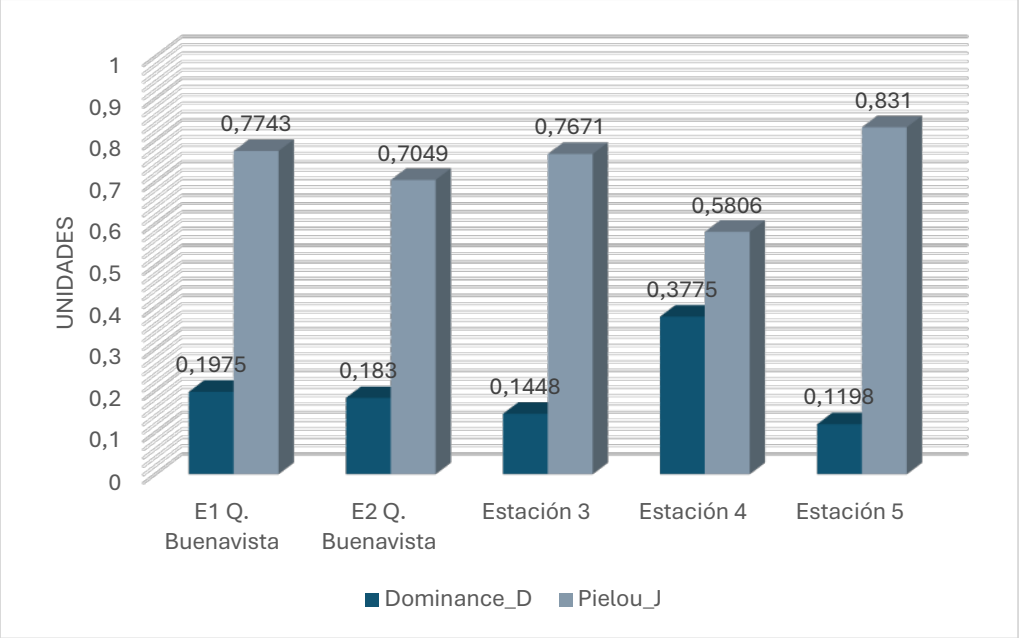


Figura 21. Índice de dominancia de Simpson e Índice de Pielou para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los predios Cajones y Quimbaya

- **Análisis de calidad biológica del agua**

Índice BMWP(col)

El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) fue utilizado para determinar la calidad del agua, basándose en la presencia de distintas familias de macroinvertebrados. Este índice se distingue por ser una herramienta sencilla y de rápida aplicación, el cual ha sido modificado para evaluar la calidad del agua en cuerpos hídricos de pequeña y mediana escala, principalmente en la región andina (Roldán, 2016). No obstante, los resultados pueden verse afectados por el tamaño de la muestra, lo que genera variaciones entre estaciones. Adicionalmente, es importante considerar la influencia de la variabilidad del caudal, ya que este factor modifica continuamente la distribución de los individuos, provocando que ciertos géneros estén presentes o ausentes dependiendo de la temporada.

Los resultados obtenidos mediante este índice evidencian que los predios Cajones y Quimbaya, presentan en términos generales calidad de agua buena (tabla 9), coincidiendo con los hallazgos de la caracterización hidromorfológica y las variables fisicoquímicas. Destacando que para las estaciones E2 Q. Buenavista y E3 se constituye como aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible, y las demás estaciones se presentan como aceptables (son evidentes algunos efectos de contaminación). Por lo cual, dadas las condiciones observadas en la zona de muestreo, se puede inferir que

paras las estaciones E1 Q. Buenavista, E4 y E5, la variabilidad del caudal y capacidad de carga de dichas estaciones podría estar incidiendo en cambios dentro de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

Tabla 9. Resultados Índice BMWP para las cinco estaciones de monitoreo presentes en los predios Cajones y Quimbaya

ESTACIÓN DE MONITOREO	ÍNDICE BMWP/COL	CLASE	CALIDAD
E1 Q. Buenavista	69	II	*Aceptable*
E2 Q. Buenavista	120	I	*Buena*
E3	124	I	*Buena*
E4	65	II	*Aceptable*
E5	94	II	*Aceptable*

E: Estación; **Q:** Quebrada

CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicas *in situ*, reflejan en términos generales una buena calidad de los puntos de monitoreo hidrobiológico, con niveles óptimos de oxígeno disuelto y conductividad, temperaturas relativamente estables y valores de pH próximos a la neutralidad.

- La caracterización hidromorfológica permitió identificar que las estaciones de muestreo registraron valores favorables en el índice de calidad hidromorfológica, lo cual refleja una alta diversidad de hábitats fluviales y la presencia de cobertura riparia bien conservada y sin alteraciones.

- Las estaciones que presentaron mayor riqueza fue la estación E2 Q. Buenavista y la Estación 3, con 23 y 24 morfoespecies, respectivamente. En contraste a E1 Q. Buenavista que fue la que menor especies reportó (12 morfoespecies). La estación que presento mayor abundancia fue la E2 Q. Buenavista (268 individuos), esto puede deberse a que es tributada por dos drenajes sencillos aguas arriba del punto de monitoreo, lo que aporta nutrientes y favorece una mayor disponibilidad de variedad de hábitats y refugios.

- Los índices ecológicos indican una diversidad representativa de macroinvertebrados acuáticos, con una distribución relativamente equitativa, la cual contribuye significativamente a la diversidad biológica en el ecosistema acuático. De este modo, la estructura de las comunidades sugiere que las estaciones evaluadas presentan condiciones ambientales favorables para el mantenimiento de una comunidad biológicamente diversa y funcional.

- El índice BMWP presentó calidad de agua buena y aceptable para las cinco estaciones de monitoreo, soportada por una diversidad significativa y la presencia de organismos bioindicadores, coincidiendo con los resultados obtenidos en la caracterización hidromorfológica y las variables fisicoquímicas. A su vez, para las estaciones E1 Q. Buenavista, E4 y E5 la calidad de agua aceptable (agua ligeramente contaminada), se puede deber principalmente por la baja capacidad de cargar que presentan dichas estaciones.

- El presente trabajo aporta información de relevancia del estado de los afluentes y refuerzan la importancia de promover y mantener estrategias de conservación y monitoreo continuo, orientadas a preservar la calidad del hábitat y la integridad biológica de dichos afluentes.

RECOMENDACIONES

- La integración de variables biológicas con fisicoquímicas es fundamental para complementar la evaluación de la calidad del agua, por lo cual se recomienda para futuros estudios ampliar el registro de parámetros fisicoquímicos, incorporando aquellos asociados a actividades agropecuarias, como fósforo total, ortofosfatos, nitrógeno amoniacal, DBO y DQO, entre otros, con el fin de identificar y analizar de forma más precisa impactos de manera puntual.

- Es esencial articular el trabajo entre entes territoriales, gubernamentales, academia y sociedad civil, con el objetivo de implementar estrategias operativas, técnicas y educativas direccionadas a la protección y conservación de las fuentes hídricas.

- Se sugiere llevar a cabo acciones operativas específicamente en los afluentes asociados a la estación 3 y estación 5, donde se identificó la presencia de mangueras que podrían estar relacionadas con captación de agua. Esto con el propósito de garantizar el estado natural de los cuerpos de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, R. & Parra, L. (2007). Macroinvertebrados acuáticos de páramo de Frontino Antioquia Colombia con énfasis en Chironomidae. Tesis Maestría Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 60 p.
- Aguirre, P., Rodríguez, B. & Rodulfo, O. (2012). Deriva de macroinvertebrados acuáticos en dos sitios con diferente grado de perturbación, Río Gaira, Santa Marta, Colombia. *Rev. Intropica.* 7 9-19. Santa Marta, Colombia
- Alba-Tercedor, J. (2014). From the sample preparation to the volume rendering images of small animals: A step by step example of a procedure to carry out the micro-CT study of the leafhopper insect k (Hemiptera: Cicadellidae). Bruker Micro-CT Users Meeting, 2014, 260-288
- Alba-Tercedor, Javier. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. SIAGA. 2.
- Alvarez, L. (2005). metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.* Disponible en http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357
- Arya, S. (2021). Freshwater biodiversity and conservation challenges: a review. Int J Biol Innov. 3(1):74–8. https://doi.org/10.46505/IJBI.2021.3106.
- Birk, S. & D. Hering. (2006). Direct comparison of assessment methods using benthic macroinvertebrates: a contribution to the EU Water Framework Directive intercalibration exercise. Hydrobiologia 566 (1): 401-415.
- Buytaert, W. (2004) The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology. PhD thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium (unpublished).
- Caicedo O, Palacio J. (1998). Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada la Mosca (Guarne, Antioquia), Colombia. Actualidades Biológicas 20 (69): 61–73.
- Chará-Serna, A. M., Chará, J. D., Zúñiga, M., Pedraza, G. X., & Giraldo, L. P. (2010). Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. Universitas Scientiarum, 15(1).
- Chavarría, L. (2021). Composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos en áreas operativas de Ecopetrol (ventanas Atuncela, Filandia, La Cocha y Beltrán). Universidad de Antioquia.
- Corporación Regional del Quindío & Gobernación del Quindío. (2022). Guía metodológica: Monitoreo de los recursos naturales en los predios para la conservación de recursos hídricos adquiridos por los entes territoriales.

- Corporación Regional del Quindío (CRQ). (2024). Caracterización de bioindicadores (macroinvertebrados y peces) de la calidad del agua en fuentes hídricas del departamento del Quindío.
- Darwall, W., Bremerich, V., & De Wever, A. (2018). The Alliance for Freshwater life: A Global Call to Unite Efforts for Freshwater Biodiversity Science and Conservation. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems.
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Domínguez, E., C. Molineri, M.L. Pescador, M.D. Hubbard & C. Nieto. (2006). Ephemeroptera of South America, p. 1-646. *In*: J. Adis, J.R Arias, G. Rueda-Delgado & K.M. Wantzen (eds.). Aquatic Biodiversity in Latin America (ALBA). Vol. 2. Pensoft, Sofia, Moscú, Rusia.
- Dudgeon, D., Arthington, A., Gessner, M., Kawabata, Z., Knowler, D., Leveque C, et al. (2010). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biol Rev. 81(2):163–82. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2005.tb00149.x.
- Encalada, A. C., M. Rieradevall, B. Ríos, N. García y N. Prat. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S). Quito, 86 pp.
- Flowers, R.W. & de la Rosa, C. (2010). Chapter 4. Ephemeroptera. Revista de Biologia Tropical. 58. 63-93.
- Gómez, M., & Álvarez, R. (2011). Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados en ríos del departamento del Quindío . Revista Colombiana de Entomología, 37(2), 217-228.
- Gonzalez-Cordoba, Zuniga M. del Carmen, Giraldo, L. P., Ramírez, Y. P., & Chara, J. (2020). Sensibilidad de Elmidae (Insecta: Coleoptera) a la perturbación del hábitat y calidad fisicoquímica del agua en ambientes loticos de los Andes Colombianos. Revista de Biología Tropical, 601-622.
- Habit, E., Gorski, K., Alo, D., Ascencio, E., Astorga, A., Colin, N., . . . Woelfl, S. (2019). Biodiversidad de Ecosistemas de Agua Dulce. Obtenido de minciencia: https://minciencia.gob.cl/uploads/filer_public/d1/b4/d1b48af9-dcb8-4437-9c02 cd3c5b534a02/biodiversidad_de_ecosistemas_de_agua_dulce.pdf
- Hamada, N., Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (2018). Keys to neotropical Hexapoda. Fourth edition. San Diego, United States: Academic Press.
- Harada, Y. Yamamoto, S. & Tomiyama, T. (2023). Climate change mitigation policies and their implications for sustainable development. Environ Econ Policy Stud. 25(1): 1–24. https://doi.org/10.1007/s10018-022-00359-7.
- Huang M, Ding L, Wang J, Ding C, Tao J. (2021). The impacts of climate change on growth: a summary of conducted studies and current knowledge. Ecol Indic

- Laws A. E. (1981). Aquatic Pollution. Wiley Interscience publication. E.U.A. 482 p.
- Liévano, A. & Ospina, R. (2007). Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. Bogotá D.C. Universidad El Bosque e Instituto Alexander Von Humbolt. Bogotá, D. C. 130p.
- Lorenz, C. M., G. M. van Dijk., A. G. M. van Hattum & W. P. Cofino. (1997). Concepts in river ecology: implications for indicator development. *Regul. Rivers: Res. Manage.,* 13**:** 501-516.
- Lozano, G., Zapata, M. & Peña, L. (2003). Modelación de corrientes hídricas superficiales en el departamento del Quindío, Colombia. Universidad del Valle/ Instituto Cinara. 64 p.
- Machado, T. (1988). Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Mayarí Navarro, R., Espinosa Lloréns, M. D., & Gutiérrez Marcelina Ruiz, J. (2005). Validación de La Determinación de Oxí-geno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas y Aguas Residuales. Revista CENIC. Ciencias Químicas, 36.
- McCafferty, P. W. (1981). Aquatic Entomology. The Fisherman's and Ecologists' Illustrated. Guide to Insects and Their Relatives. Boston, London: Jones and Bartlett Publishers.
- Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (Eds.). (2019). An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall Hunt Publishing.
- Meza, A. M., J. Rubio, L. Diaz & J. Walteros. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia* 34(2): 443-456.
- Milner, A., Khamis, K., Battin, T., Brittain, J., Barrand, N., Fucíkova K, et al. (2017) Alpine aquatic ecosystem conservation: urgent challenges in an era of melting ice. Ambio. 46(3):259–74. https://doi.org/10.1007/s13280-017-0930-6.
- Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. (Vol. I). Zaragoza, España: Sociedad entomológica Aragonesa.
- Muñoz-Quesada, F. (2004). El orden Trichoptera (Insecta) en Colombia, II: Inmaduros y adultos, consideraciones generales. Insectos de Colombia. 3, 319-349.
- Orozco, H. R.; Guzmán, A. M.; Palma, C. B. (2005). Dípteros acuáticos en la ensenada de san Nicolás, lago de Chápala, Jalisco, México. Anales del instituto de ciencias del mar y Limnología.
- Oviedo-Machado, N. & Reinoso-Flórez, G. (2018). Aspectos ecológicos de larvas de Chironomidae (Diptera) del río Opia (Tolima, Colombia). Revista Colombiana de Entomología 44 (1): 101-109. Enero - Junio 2018.

- PGAR, (2020). Plan de gestión ambiental regional Quindío - Cuenca hidrográfica del río La Vieja 2020-2039. Corporación autónoma regional del Quindío.
- Postel, S. (2007). Conservando los ecosistemas de agua dulce. Worldwatch , 101-133.
- Rice, E., Baird, A. & Eaton. (s.f). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition 23
- Rincón-Bello, M., Soler-Romero, F. Calderón-Rivera, D., Sierra-Parada, R. & Jaramillo-Londoño, A. (2021). Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua en el río Chicú, Cundinamarca, Colombia. *Hidrobiológica*, *31*(1), 17-29. Epub 16 de enero de 2023.https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2021v31n1/rincon
- Rodiles-Hernández, R., González-Díaz, A., & González-Acosta, A. (2013). Ecosistemas acuáticos. En R. Rodiles-Hernández, A. González-Díaz, & A. González-Acosta, La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado (págs. 45-57). Estado de Chiapas: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (conabio).
- Rodríguez, C. V.; Quiroz, M. H.; Badii, Z. M.; Solís, R. C. (2004). Riesgos entomológicos asociados a aguas contaminadas. Revista de Salud Pública y Nutrición, Nuevo León, México 5 (3): 1-8.
- Rodríguez, J., Pinilla, G. & Moncada, L. (2021). Estructura de la comunidad de dípteros acuáticos en tramos de los cursos altos de los ríos Fucha y Bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, *26*(2), 147-159. Epub January 18, 2022.https://doi.org/10.15446/abc.v26n2.81916
- Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquía. Medellin: Universidad de Antiquia.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldan, G., & Ramirez, J. J. (2008). Fundamentos de limnologia neotropical. Medellin: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamerica. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat., 254-274.
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall.
- Salles, F & Boldrini, R. (2008). Male Imago Description of Americabaetis longetron Lugo-Ortiz & McCafferty (Ephemeroptera: Baetidae), and First Key to Adults of the Genus. Neotropical Entomology 37(5):564-566.
- Solís-Castro, Yuliana, Zúñiga-Zúñiga, Luis Alberto, & Mora-Alvarado, Darner. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en

pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, *31*(1), 35-46. https://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495

- Usseglio-Polaterra, P., Bournaud, M., Richoux, P., & Tachet, H. (2000). Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait data bases?. Hydrobiologia, 422/423, 173-181.
- Vásquez, D., R.W. Flowers & M. Springer. (2009). Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the Caribbean slope of Costa Rica. Aquat. Insect. 31(S1): 319-322.
- Young, K. (2016). Caracterización y evaluación de la cuenca de abastecimiento del Acueducto del municipio de Quimbaya (quebrada Buenavista). Gestión integral de cuencas hidrográficas en el departamento del Quindío. Gobernación del Quindío. Secretaria de agricultura, desarrollo rural y medio ambiente.
- Zúñiga, M.C.; Molineri, C. & Domínguez, E. (2004). El Orden Ephemeroptera en Colombia. *In:* Fernández, F.C., Andrade-C, M.G. & Amat, G.D. (Eds.). *Insectos de Colombia,* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. v. 3, p. 17-42.