

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA  
MAMARRAMOS (BOYACÁ, COLOMBIA) RELACIONANDO LOS ÍNDICES  
FISICOQUÍMICOS CON LOS DE DIVERSIDAD, EQUIDAD, DISIMILARIDAD Y  
BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY (BMWP), EN ÉPOCA SECA

**ANDREA ALEXANDRA ÁVILA BAUTISTA**

**CLAUDIA ISABEL VEGA SUÁREZ**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2016

Determinación de la calidad del agua de la Quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia) relacionando los índices fisicoquímicos con los de diversidad, equidad, disimilaridad y Biological Monitoring Working Party (BMWP), en época seca

**ANDREA ALEXANDRA ÁVILA BAUTISTA**

**CLAUDIA ISABEL VEGA SUÁREZ**

Trabajo de grado para obtener el título de

Ingeniero Ambiental

Directora del proyecto: M.Sc. Yolanda Gamarra Hernández

Universidad Pontificia Bolivariana

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2016

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bucaramanga, marzo de 2016**

Andrea Alexandra Ávila Bautista

En primer lugar quiero dedicar este trabajo a Dios, por darme la fé, el conocimiento y la confianza necesaria para salir adelante, por demostrarme que sin él en mi vida nada seria igual.

A cada uno de mis familiares por ser ejemplo de lucha y perseverancia, motivándome siempre a buscarle soluciones a la vida.

A mi madre Madeleyne Bautista, por darme la vida y ser mi amiga, por enseñarme a ser una mujer integra regalándome lo mejor de ella: su dedicación, ejemplo y amor incondicional; a mi padre Henry Ávila, por su labor como padre para que nunca me hiciera falta nada, por formarme para la vida regalándome su amor, siendo mi amigo y mi apoyo.

A Fabio Hernández por darme su amor, por siempre brindarme consejos en los momentos más difíciles, apoyándome en cada paso que doy siendo una persona incondicional para mí.

A mis amigos y amigas, por motivarme brindándome cariño; a mis compañeros de carrera, por cada sonrisa y experiencias vividas.

Claudia Isabel Vega Suárez

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, por guiar mis pasos, y por haberme dado salud y fortaleza para lograr mis objetivos.

A mi familia por ser el motor de mi vida, por darme la oportunidad de crecer como persona y profesional; a mi madre María Isabel por ser mi ejemplo y orgullo, por acompañarme en cada momento, por sus consejos, sus valores y su amor ilimitado; a mi nona María Smith por ser esa mujer fuerte y luchadora que me ha enseñado a ser valiente y a no rendirme ante ninguna prueba de la vida; a mi tío Alberto por ser esa persona incondicional, por animarme a luchar mis sueños e ir siempre en busca de lo que me hace feliz.

A mis amigos y amigas por acompañarme en cada paso, por ser mi apoyo emocional en los momentos difíciles y llenarme de sonrisas con sus bromas y cariño; a Javier por ser ese apoyo continuo, ser la persona que cree en mí y me anima siempre a dar lo mejor de mí.

## CALIDAD DEL AGUA

**Agradecimientos**

Gracias a Dios por brindarnos la oportunidad de cumplir nuestras metas, culminar nuestra carrera profesional y hacernos feliz con cada día que nos regala.

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los Profesores M.Sc. Yolanda Gamarra Hernández y Esp. Ricardo Restrepo Manrique, quienes han transmitido su vocación y conocimiento, nos orientaron, ayudaron y estimularon constantemente a lo largo de la carrera y en la elaboración de este estudio. Agradecerles la confianza que nos han demostrado, así como la dedicación y la atención que en todo momento nos han ofrecido.

Al Santuario de Fauna y Flora de Iguaque y al Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia por permitirnos ser parte del proceso investigativo y el desarrollo de este trabajo. Por darnos la experiencia de conocer un ecosistema natural maravilloso enseñándonos a valorar la riqueza natural de nuestro país.

A la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga, por buscar siempre una formación integral, y como parte de esta institución a cada uno de los docentes que hicieron parte de nuestra formación como profesionales a lo largo de estos cinco años.

Al grupo de apoyo del proyecto de investigación de la Universidad Pontificia Bolivariana, Yohana Castro, Juliana Cediél, Andrés Chiriví, Fernando Martínez, Camilo Orozco, Paola Reyes, Alejandro Rincón, Oscar Rueda, Jorge Salazar, Karen Tatiana, Zulma Rueda, por su acompañamiento en el trabajo de campo, su dedicación y su buena energía.

A las profesoras M.Sc Alexandra Cerón Vivas y Ph.D. Maryory Patricia Villamizar León, por su acompañamiento y dedicación a este estudio; a Andrea Juliana Paba Rueda por su aporte académico a este proyecto, a Jhonatan Fabián Duitama Jaimes por su apoyo incondicional

## CALIDAD DEL AGUA

en el laboratorio y en campo; a todo el equipo del Laboratorio de Estudios Ambientales de la UPBbga por permitirnos el uso de las instalaciones con fines académicos.

**Contenido**

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Objetivo general</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Objetivos específicos</b>	<b>2</b>
<b>2. Marco teórico</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Marco teórico</b>	<b>3</b>
2.1.1. Calidad del agua.	3
2.1.2. Ecosistemas acuáticos	5
2.1.3. Macroinvertebrados	7
2.1.4. Tratamiento de resultados.	11
<b>2.2. Marco contextual</b>	<b>16</b>
2.2.1. Definición del problema	16
2.2.2. Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN).	17
2.2.3. Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá/Colombia).	18
<b>2.3. Marco legal</b>	<b>23</b>
2.3.1. Actos administrativos de declaración del área, límites y reglamentos.	23
<b>3. Metodología</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Fase I: Campo</b>	<b>25</b>
3.1.1. Colecta de macroinvertebrados.	26
<b>3.2. Fase II: Laboratorio</b>	<b>28</b>

## CALIDAD DEL AGUA

3.2.1. Identificación de macroinvertebrados.	28
<b>3.3. Fase III: Tratamiento de resultados</b>	<b>28</b>
3.3.1. Macroinvertebrados.	28
3.3.2. Correlación entre resultados.	30
<b>4. Resultados y discusión</b>	<b>32</b>
<b>4.1. Macroinvertebrados acuáticos</b>	<b>32</b>
4.1.1. Curva de especies.	32
4.1.2. Biological Monitoring Working Party – BMWP.	33
4.1.3. Índices biológicos.	35
4.1.4. ICOBIO.	40
<b>4.2. Correlaciones índices</b>	<b>46</b>
4.2.1. Resultados índices de contaminación (ICO).	46
4.2.2. Relaciones entre índices.	47
<b>5. Conclusiones</b>	<b>49</b>
<b>6. Recomendaciones</b>	<b>51</b>
<b>7. Bibliografía</b>	<b>52</b>
<b>8. Anexos</b>	<b>58</b>

**Índice de tablas**

<i>Tabla 1. Índices de contaminación del agua.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 2. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3. Grado de contaminación según índice BMWP/Col.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 4. Valoración de los niveles de contaminación.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 5. Índices biológicos. ....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 6. Climatología de la Subcuenca “La Colorada” .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 7. Objetivos de conservación.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 8. Nombre, nomenclatura, altitud, subcuenca y coordenadas de las estaciones de muestreo. ....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 9. Fórmulas índices biológicos.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 10. Índices de contaminación.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 11. Resultados índice BMWP para los tres muestreos.....</i>	<i>33</i>

**Índice de figuras**

<i>Figura 1. Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático.</i>	8
<i>Figura 2. Macroinvertebrados representantes del necton en un ecosistema acuático.</i>	9
<i>Figura 3. Macroinvertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático.</i>	10
<i>Figura 4. Ubicación del Santuario de Fauna y Flora de Iguaque.</i>	19
<i>Figura 5. Mapa de las Subcuencas de la Cuenca Cane-Iguaque.</i>	20
<i>Figura 6. Precipitación promedio mensual multianual (años 1994-2012)</i>	22
<i>Figura 7. Captura de macroinvertebrados.</i>	27
<i>Figura 8. Curva de acumulación de taxones para el monitoreo.</i>	32
<i>Figura 9. Calidad del agua según el índice BMWP para los tres muestreos.</i>	34
<i>Figura 10. Boxplot de dominancia.</i>	36
<i>Figura 11. Boxplot de Simpson.</i>	37
<i>Figura 12. Boxplot de Shannon.</i>	38
<i>Figura 13. Boxplot de Margalef.</i>	39
<i>Figura 14. Boxplot de equitatividad.</i>	40
<i>Figura 15. ICOBIO QCS01-QCS02.</i>	42
<i>Figura 16. ICOBIO QCS02-QCS03</i>	43
<i>Figura 17. ICOBIO QFS02-QFS03.</i>	44
<i>Figura 18. ICOBIO QMS01-QMS02.</i>	46

**Abreviaturas****BMWP.**

Biological Monitoring Working Party.

**ICOBIO.**

Índice biótico.

**IDEAM.**

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

**INDERENA.**

Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente.

**SFFI.**

Santuario de Fauna y Flora de Iguaque.

**SINAP.**

Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

**SPNN.**

Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

**UICN.**

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

CALIDAD DEL AGUA

**WRC.**

Water and Rivers Commission.

**Índice de anexos**

<i>Anexo 1. Quebrada Carrizal (QCS01)</i>	58
<i>Anexo 2. Quebrada Carrizal (QCS02).</i>	58
<i>Anexo 3. Quebrada Carrizal (QCS03).</i>	59
<i>Anexo 4. Quebrada Carrizal (QCS04).</i>	59
<i>Anexo 5. Quebrada Los Francos (QFS01).</i>	60
<i>Anexo 6. Quebrada Los Francos (QFS02).</i>	60
<i>Anexo 7. Quebrada Los Francos (QFS03).</i>	61
<i>Anexo 8. Quebrada Los Francos (QFS04).</i>	61
<i>Anexo 9. Quebrada Mamarramos (QMS01).</i>	62
<i>Anexo 10. Quebrada Mamarramos (QMS02)</i>	62
<i>Anexo 11. Macroinvertebrados presentes en el SFFI.</i>	63
<i>Anexo 12. Familia Calamoceratidae.</i>	66
<i>Anexo 13. Familia Helicopsychidae.</i>	67
<i>Anexo 14. Familia Leptoceridae.</i>	68
<i>Anexo 15. Familia Planariidae.</i>	69
<i>Anexo 16. Familia Psephenidae.</i>	70
<i>Anexo 17. Índices biológicos primer muestreo.</i>	70
<i>Anexo 18. Índices biológicos segundo muestreo.</i>	71
<i>Anexo 19. Índices biológicos tercer muestreo.</i>	71
<i>Anexo 20. Reporte de número de taxas por muestreo.</i>	72

## Glosario

### **Abundancia.**

Se refiere al número de individuos encontrados de un determinado Taxa. Comúnmente es usado para el tamaño poblacional y se piensa que refleja la situación de la población de una especie dentro de una locación específica.

### **Área protegida.**

Área definida geográficamente que es designada, regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación.

### **Bioindicador.**

Organismo vivo que se utiliza para determinar y evaluar el índice de contaminación de un lugar, especialmente de la atmósfera o del agua.

### **Biotopo.**

Espacio geográfico con unas condiciones ambientales determinadas (como suelo, agua, atmósfera, etc.) para el desarrollo de ciertas especies animales y vegetales.

### **Captación.**

Es una técnica de recolección y almacenamiento de agua pluvial en tanques o en embalses naturales o de infiltración de aguas superficiales en yacimientos acuíferos antes de que se pierda en escorrentía superficial.

## CALIDAD DEL AGUA

### **Comunidad.**

Conjunto de poblaciones biológicas que comparten un área determinada y coinciden en el tiempo.

### **Conservación.**

Hace referencia a la protección de los animales, las plantas y el planeta en general. Esta conservación apunta a garantizar la subsistencia de los seres humanos, la fauna y la flora, evitando la contaminación y la depredación de recursos.

### **Contaminación.**

Cuando una concentración máxima aceptable de variables seleccionadas, en relación con el uso, ha sido excedida o el hábitat y la biota han sido fuertemente modificados, entonces el agua se define como contaminada.

### **Ecosistemas lóticos.**

Están formados por las aguas corrientes, ríos y arroyos. En estos ecosistemas los seres vivos presentan gran capacidad para fijarse al sustrato y para nadar, de esta forma evitan ser arrastrados por las corrientes.

### **Ecosistemas lénticos.**

Son ecosistemas de aguas estancadas y están representados principalmente por lagos, estanques o charcas; varían mucho en tamaño, ya que se pueden encontrar desde pequeños estanques hasta enormes lagos que cubre miles de kilómetros cuadrados.

## CALIDAD DEL AGUA

### **Factores ambientales.**

Elementos ambientales o de incidencia medioambiental susceptibles de estudio para el conocimiento de su estado o situación actual. También son denominados aspectos o vectores ambientales (agua, atmósfera, fauna, flora, paisaje, residuos, medio urbano, movilidad y transporte, etc...).

### **Hábitat.**

El hábitat es el lugar en el cual se cumplen las condiciones más importantes para que una especie de seres vivos puedan vivir allí, donde también se reproducirán y aumentarán su número.

### **Monitoreo.**

Es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pos de la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión.

### **Muestreo.**

El muestreo es el proceso de seleccionar un conjunto de individuos de una población con el fin de estudiarlos y poder caracterizar el total de la población.

### **Organismos Bentónicos.**

Aquellos que viven en el fondo de los cuerpos acuáticos y se alimentan del sustrato del fondo, por filtración o ingestión. Algunos son muy útiles para la vigilancia ambiental.

## CALIDAD DEL AGUA

### **Perturbaciones.**

Una perturbación ambiental es un cambio perceptible por la variación en la composición, estructura o funcionalidad de las poblaciones o comunidades de un ecosistema.

### **Población.**

La población es un conjunto de organismos de la misma especie que ocupan un área más o menos definida y que comparten determinado tipo de alimentos.

### **Servicios ecosistémicos.**

Son servicios del ecosistema, es decir, los recursos o procesos de ecosistemas naturales que benefician a los seres humanos. Incluye productos como agua potable y procesos tales como la descomposición de desechos.

### **Taxa.**

Es un grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados, asignándole al grupo un nombre en latín, una descripción si es una especie, y un tipo.

## CALIDAD DEL AGUA

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

<b>TITULO:</b>	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA MAMARRAMOS (BOYACÁ, COLOMBIA) RELACIONANDO LOS ÍNDICES FISICOQUÍMICOS CON LOS DE DIVERSIDAD, EQUIDAD, DISIMILARIDAD Y BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY (BMWP), EN ÉPOCA SECA
<b>AUTOR(ES):</b>	ANDREA ALEXANDRA ÁVILA BAUTISTA CLAUDIA ISABEL VEGA SUÁREZ
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería Ambiental
<b>DIRECTOR(A):</b>	YOLANDA GAMARRA HERNÁNDEZ

**RESUMEN**

El Santuario de Fauna y Flora de Iguaque es un área protegida perteneciente a la región andina colombiana; abarca ecosistemas de páramo y bosque andino, incluida una muestra representativa de bosque de roble. En las zonas protegidas, los cuerpos hídricos son un eje articular de los ecosistemas, debido a los bienes y servicios ambientales que ofrecen, como el abastecimiento de agua para las poblaciones, la regulación del clima y del ciclo hídrico. A raíz de las constantes quejas acerca de la calidad del agua, las autoridades del parque recurrieron a la implementación de un sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas del área administrativa del parque, con el fin de mejorar la calidad de la misma. Como medida de evaluación Parques Nacionales Naturales de Colombia incentiva el desarrollo de proyectos de investigación con instituciones académicas que permitan establecer la condición ecológica de la microcuenca de la Quebrada Mamarramos, fuente de abastecimiento de las comunidades de la región, ubicada en la jurisdicción del Santuario de Fauna y Flora de Iguaque. El presente estudio propuso determinar la calidad del agua de la Quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia) relacionando los índices fisicoquímicos (ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOPH) con los de diversidad (Simpson y Shannon), equidad (Equitatividad), disimilaridad (ICOBIO) y el Biological Monitoring Working Party (BMWP), en la época climática seca. Los resultados muestran el alto grado de conservación de la quebrada a lo largo del Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, posiblemente debido a las medidas de conservación y preservación adoptadas por Parques Nacionales Naturales de Colombia.

**PALABRAS CLAVES:**

Parques Nacionales, Iguaque, Macroinvertebrados, Bioindicadores, Calidad de agua

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## CALIDAD DEL AGUA

**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** DETERMINATION WATER QUALITY OF THE QUEBRADA MAMARRAMOS (BOYACÁ, COLOMBIA) RELATING THE PHYSICOCHEMICAL INDEXES WITH DIVERSITY, EQUITY, DISSIMILARITY AND BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY (BMWP) IN DRY CLIMATIC PERIOD

**AUTHOR(S):** ANDREA ALEXANDRA AVILA BAUTISTA  
CLAUDIA ISABEL VEGA SUÁREZ

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:** YOLANDA GAMARRA HERNÁNDEZ

**ABSTRACT**

Santuario de Fauna y Flora de Iguaque is a protected region, member of the Colombian Andean region; the area covers Páramo and Andean forest, including a representative sample of oak forest. In protected areas, bodies of water are a joint axis of ecosystems, due to goods and services that offer, as well as the water supply for population, regulation of climate and water cycle. Following repeated complaints about water quality, park authorities resorted to implement a treatment system for domestic wastewater in the administrative area of the park, in order to improve water quality. As an evaluation measure Parques Nacionales Naturales de Colombia encourages the development of research projects with academic institutions, which goal was to establish the ecological condition of watershed of the Quebrada Mamarramos, source of supply of water demand for communities located in the jurisdiction of Santuario de Fauna y Flora de Iguaque. This study aimed to determine water quality of the Quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia) relating the physicochemical indexes (ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOPH) with diversity (Simpson and Shannon), equity (Equitability), dissimilarity (ICOBIO) and Biological Monitoring Working Party (BMWP) in dry climatic period . These results shows the high degree of conservation of the Quebrada Mamarramos of the Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, thanks to conservation and preservation measures taken by Parques Nacionales Naturales de Colombia.

**KEYWORDS:**

National Parks, Iguaque, Macroinvertebrates, Bioindicators, Water Quality

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## CALIDAD DEL AGUA

### **Introducción**

Con el fin de evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas implementados por el SFFI, se realizaron tres muestreos en la época climática seca, en los cuales se evaluaba la calidad del recurso hídrico de la zona, mediante el uso de bioindicadores acuáticos, para conocer factores ambientales a partir del cálculo de los índices BMWP y biológicos, comparándolos con índices fisicoquímicos.

Este trabajo de grado surge como un estudio paralelo a un proyecto de investigación presentado por docentes de la UPBbga, en convenio con el SPNN, para establecer un índice ecológico del lugar. Los resultados aquí presentados servirán de base para el desarrollo de dicha investigación y para aportes de control de calidad de agua de los jefes administrativos del SFFI. Los resultados y análisis de este proyecto podrán ser utilizados como plataforma para futuras investigaciones en el uso y estudio de macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua. De igual manera pretende incentivar el control y monitoreo del recurso hídrico en otros lugares con ecosistemas de alta montaña en el país, donde se lleve un historial de las características de la fuente hídrica y de esta manera poder conocer el estado actual y el comportamiento futuro de lugar de estudio

## CALIDAD DEL AGUA

### 1. Objetivos

#### 1.1. Objetivo general

- Determinar la calidad del agua de la Quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia) relacionando los índices fisicoquímicos con los de diversidad, equidad, disimilaridad y el Biological Monitoring Working Party (BMWP), en época climática seca.

#### 1.2. Objetivos específicos

- Aplicar el índice BMWP a partir de la identificación de los macroinvertebrados acuáticos, hasta el nivel de familia.
- Calcular índices de diversidad, equidad, disimilaridad como complemento a la información biológica obtenida a partir del BMWP.
- Establecer correlación entre los resultados obtenidos por las metodologías aplicadas, para la determinación de la calidad del agua de la Quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia).

## CALIDAD DEL AGUA

### 2. Marco teórico

#### 2.1. Marco conceptual

##### 2.1.1. Calidad del agua.

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua. Estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal (Barrenechea, 2000).

En Colombia las fuentes hídricas han ido cambiando a través de los años debido a que reciben y transportan cargas de agua utilizadas en los diferentes procesos socioeconómicos y vertidas mayoritariamente sin tratamiento previo; además, son los receptores de altos volúmenes de sedimentos originados por procesos de erosión, bien sea de origen natural o por acción del hombre. De igual manera se presentan constantes concesiones ilegales, lo que hace que disminuya el caudal de la fuente hídrica, perjudicando la capacidad de autodepuración de la misma, por tanto se hace necesario un constante monitoreo que permita determinar la calidad del agua, con el fin de seleccionar acciones para su preservación y conservación.

Para evaluar la calidad del agua existen diferentes técnicas, ya sean fisicoquímicas o biológicas, que se describen a continuación.

##### *2.1.1.1. Parámetros fisicoquímicos.*

Los parámetros fisicoquímicos son variables físicas y químicas que se evalúan de manera grupal o individual, las cuales brindan información detallada de la naturaleza de las especies químicas y propiedades físicas del agua. Sin embargo, no aportan información respecto a su influencia en la vida acuática (Natalia Eugenia, Ruiz Samboni, Yesid & Juan Carlos, 2007).

## CALIDAD DEL AGUA

Para la evaluación de las variables fisicoquímica del agua se implementan los índices de calidad y contaminación, que consisten en una relación de parámetros, cada uno de los cuales tiene un peso específico, los cuales sirven como una medida del grado de calidad o contaminación del agua. Los datos de campo se reducen a un rango con valores entre 0 y 1, a estos rangos se les asigna un nivel, un color y una descripción (G. Roldán, 2003).

### 2.1.1.1.1. Índice de contaminación (ICO).

Un índice de contaminación consiste en la formulación de un valor numérico a partir de la agregación de variables fisicoquímicas y/o microbiológicas, que buscan explicar diferentes mecanismos de contaminación, utilizando para ello un número reducido de variables, ver Tabla 1, (Ramírez et al., 1997).

*Tabla 1.*

*Índices de contaminación del agua.*

ICO	Variables incluidas	Tipo de estimación
<b>Mineralización ICOMI</b>	Conductividad, dureza y alcalinidad	Ecuación promedio aritmética
<b>Materia Orgánica ICOMO</b>	DBO, OD y coliformes totales	
<b>Sólidos ICOSUS</b>	SST	Ecuación
<b>ICO PH</b>	PH	lectura directa
<b>Biológico ICOBIO</b>	Comunidades Biológicas	Ecuación lectura directa

Fuente: (Samboni Ruiz, Carvajal Escobar, & Escobar, 2007).

### 2.1.1.2. Parámetros biológicos.

Todos los seres vivos, en alguna medida, son indicadores de la calidad del medio, su presencia o ausencia es indicativo de la contaminación orgánica y/o biológica; tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas: la descomposición animal y vegetal, los residuos domésticos, detergentes, etc (Metcalf & de Dios Trillo Montsoriu, 1985).

## CALIDAD DEL AGUA

Son considerados parámetros biológicos:

- a. Los coliformes: por ser bacterias de origen entérico, los géneros de enterobacterias incluidos en el grupo de coliformes a efectos de análisis de agua son: *Salmonella*, *Vibrio*, *Klebsiella* y *Enterobacter*.
- b. Virus
- c. Presencia de organismos acuáticos no habituales
- d. Ausencia de organismos acuáticos comunes
- e. Diversidad de especies
- f. Aspecto y tamaño de los organismos.

### 2.1.2. Ecosistemas acuáticos

#### 2.1.2.1. Ecosistemas acuáticos.

Un ecosistema es una unidad ecológica en la cual un grupo de organismos interactúa entre sí y con el ambiente (G. P. Roldán & Ramírez, 2008), para el caso de los ecosistemas acuáticos, se entiende por todos aquellos ecosistemas que tienen por biotopo algún cuerpo de agua, como pueden ser: mares, océanos, ríos, lagos, pantanos, riachuelos, lagunas, entre otros. Se destacan principalmente los ecosistemas marinos y de agua dulce.

Desde siempre, los ecosistemas acuáticos han estado influenciados por dos grandes grupos de factores: bióticos y abióticos. Los primeros se refieren a todas las interacciones entre los diferentes organismos del ecosistema, entradas, flujos de energía y zonas de ribera, mientras que los factores abióticos hacen referencia a variables climáticas, fisicoquímicos y biogeográficos que influyen el medio en el cual se desenvuelven los organismos acuáticos (G. P. Roldán & Ramírez, 2008). Por otra parte los ecosistemas de agua dulce, son considerados las redes fluviales donde hay mayores tramos de cabecera, es decir, tramos de nacimiento de

## CALIDAD DEL AGUA

agua, donde hay más posibilidades de colonización para los organismos. Los ríos son sistemas que reciben recurrentemente perturbaciones en forma de sequía, más o menos regulares según clima del que se trate (Elosegi & Sabater, 2009).

### **2.1.2.2. Relación de los factores fisicoquímicos del agua con la fauna acuática.**

La composición química del agua está relacionada directamente con la capacidad que tiene esta de mantener elementos y sustancias sólidas y gaseosas en solución, fundamentales para el desarrollo de la biota (Soler & Mora, 1993).

Los parámetros fisicoquímicos del agua determinados por factores ambientales influyen de manera directa en la diversidad de las comunidades de los macroinvertebrados. Factores como la profundidad, pH, alcalinidad, dureza, sedimentos, materia orgánica, contaminantes tanto industriales como domésticos, determinan la abundancia relativa de las comunidades (Soler & Mora, 1993)(Gil, 2014).

De igual forma la cobertura vegetal, no solo influye en la producción de nutrientes en el agua, también influye en la calidad del hábitat para los macroinvertebrados, determinando así el incremento de la abundancia y riqueza de las comunidades (Paukert & Willis, 2003). A pesar de que los sistemas lénticos y lóticos presenten grandes diferencias en cuanto a la dinámica, las características de velocidad de la corriente y el flujo direccional confieren otros atributos a los cuales las comunidades deben adaptarse, ya que los factores físicos y químicos alteran las comunidades de macroinvertebrados.

La turbiedad, el color y los sólidos suspendidos afectan directamente aquellos organismos que requieren de las plantas para su alimentación, ya que estos factores reducen la entrada de los rayos solares suprimiendo la productividad primaria. La turbiedad y los sólidos

## CALIDAD DEL AGUA

suspendidos afectan la relación depredador-presa ya que dificulta la visualización del alimento (Soler & Mora, 1993). La temperatura afecta la eclosión de los huevos, la colonización y acelera el ciclo de vida de los insectos (G. P. Roldán & Ramírez, 2008)(Hawkes, 1979).

Uno de los factores químicos que más se ha estudiado en este tópico es la materia orgánica; la cual desestabiliza por completo el balance del sistema por la demanda de la respiración microbiana, que da como resultado un gasto del oxígeno disuelto en el agua y la consecuente eliminación de las especies no tolerantes a este cambio (Hawkes, 1979).

### **2.1.3. Macroinvertebrados**

#### **2.1.3.1. Macroinvertebrados acuáticos.**

##### *2.1.3.1.1. Definición.*

Los macroinvertebrados acuáticos son un grupo variado de organismos que no tienen espina dorsal y que son fáciles de ver sin la necesidad de un microscopio, además, son una fuente de energía para los animales más grandes. Estos son utilizados para el biomonitoreo por su sensibilidad a cambios externos en el medio que afectan la composición de sus poblaciones (G. Roldán, 2003).

De acuerdo a la Water and Rivers Commission (WRC) (2001) los macroinvertebrados son sensibles a distintas condiciones físicas y químicas, por tanto un cambio en la calidad del agua, podría cambiar también la estructura y composición de las comunidades acuáticas. Por consiguiente, la composición de macroinvertebrados en un cuerpo de agua puede suministrar información acerca de la calidad de la fuente hídrica de estudio. Los macroinvertebrados también permiten determinar los efectos de los impactos en el ecosistema acuático en un tiempo más prolongado que un análisis fisicoquímico, sin embargo dichos análisis se hacen necesarios para establecer otras características de la fuente hídrica (Water and Rivers Commission, 2001).

## CALIDAD DEL AGUA

### 2.1.3.2. *Hábitat de los macroinvertebrados acuáticos*

Los macroinvertebrados acuáticos pueden vivir en la superficie, en el fondo o nadar libremente; es por esta razón que reciben diferentes nombres de acuerdo con este tipo de adaptación (G. Roldán, 2003).

#### 2.1.3.2.1. *Neuston.*

Los macroinvertebrados pertenecientes a este grupo, son aquellos organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando. Entre los representantes están las familias Gerridae, Hydrometridae y Mesoveliidae, (G. Roldán, 2003) Figura 1.

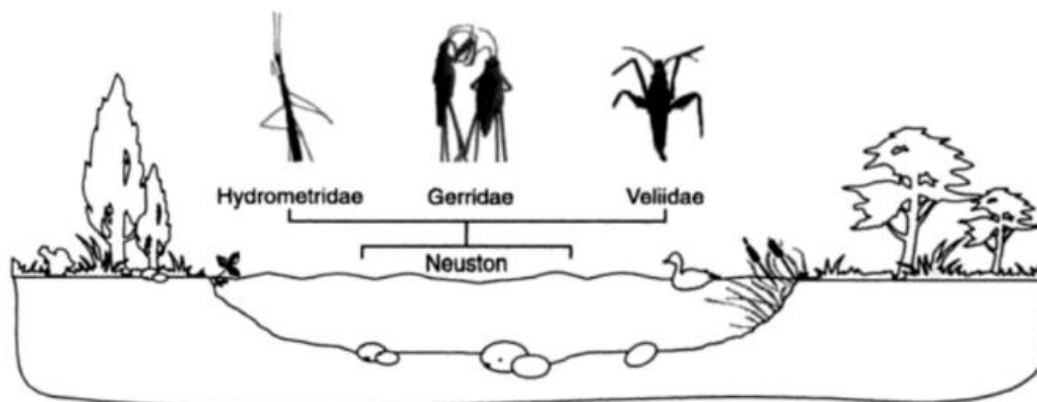


Figura 1. Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático.

Fuente: (G. Roldán, 2003)

#### 2.1.3.2.2. *Necton.*

Está conformado por todos aquellos organismos que nadan libremente en el agua. Entre ellos se encuentran organismos de las familias: Corixidae y Notonectidae del orden Hemiptera; Dytiscidae, Gyrinidae e Hydrophilidae del orden Coleoptera y Baetidae del orden Ephemeroptera (G. Roldán, 2003) Figura 2.

## CALIDAD DEL AGUA

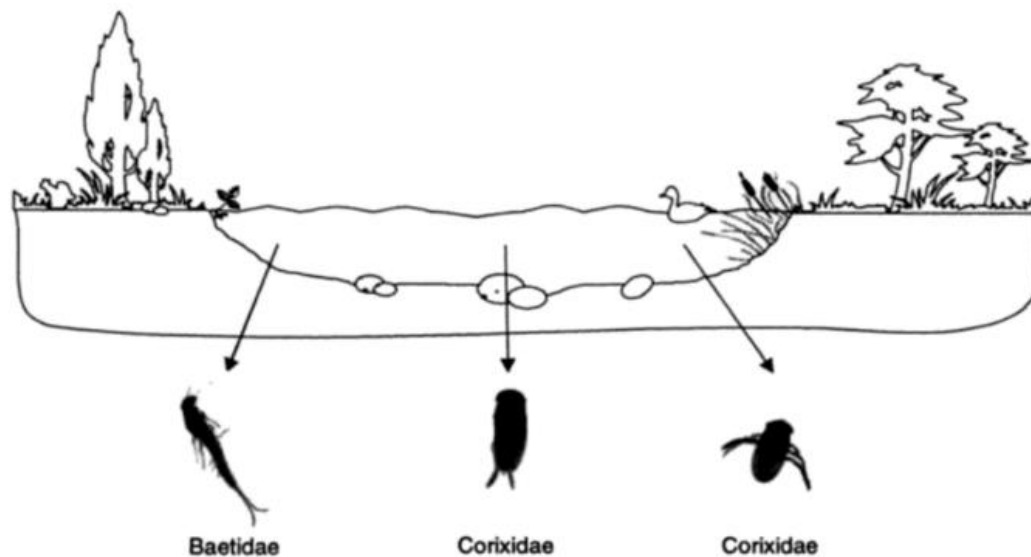


Figura 2. Macroinvertebrados representantes del necton en un ecosistema acuático.

Fuente: (G. Roldán, 2003)

#### 2.1.3.2.3. Bentos.

Hace referencia a aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares. Los principales representantes son los ordenes: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera y Diptera. También se pueden encontrar algunos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia Euthyplociidae (Ephemeroptera). También hay algunos que permanecen sobre las superficies sólidas, como los representantes de la familia Blephariceridae (Diptera), que se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Ciertas especies pertenecientes al orden Odonata se encuentran adheridas a vegetación acuática sumergida o emergente (G. Roldán, 2003) Figura 3.

## CALIDAD DEL AGUA

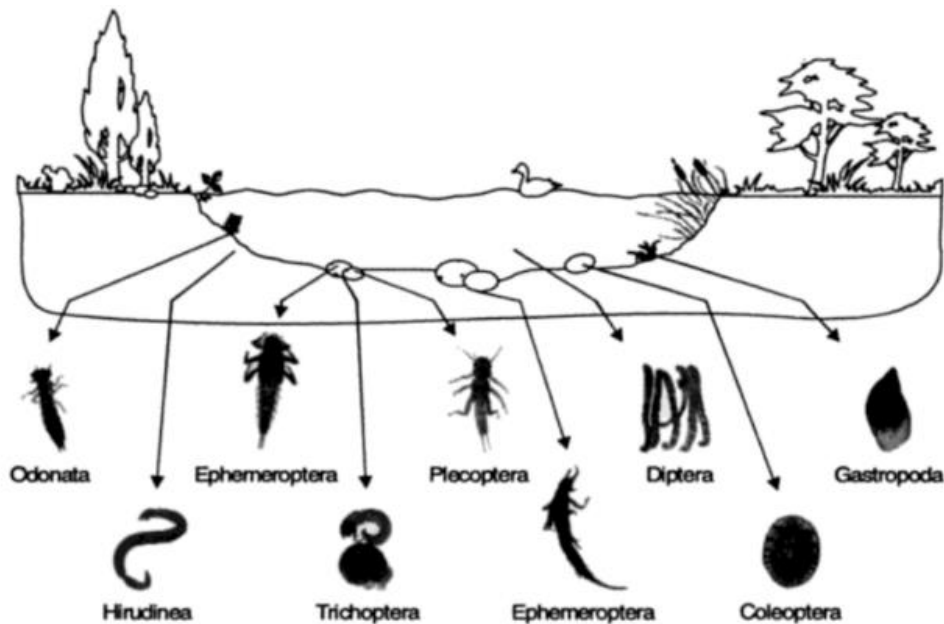


Figura 3. Macroinvertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático.

Fuente: (G. Roldán, 2003)

### 2.1.3.3. *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.*

El concepto de bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua, es definido como: una especie que posee requerimientos particulares con relación a uno o un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, puede indicar que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia (Rosenberg & Resh, 1993).

Según estudios realizados recientemente a nivel mundial, el uso de bioindicadores es una excelente herramienta para conocer la calidad del agua, simplificando en gran medida las actividades de campo y laboratorio, ya que la aplicación de esta técnica sólo requiere la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican dicha calidad (Vásquez, Castro, Gonzáles, Pérez, & Castro, 2006).

## CALIDAD DEL AGUA

Según Róldan (2003) los macroinvertebrados acuáticos son excelentes indicadores de la calidad del agua debido a las siguientes características.

- Son abundantes, de amplia distribución y relativamente fáciles de recolectar.
- Son sedentarios en su mayoría, por tanto, reflejan las condiciones locales.
- Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos, como las bacterias y virus, entre otros.

- Presentan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo.
- Proporcionan información para integrar efectos acumulativos.
- Poseen ciclos de vida largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Se pueden cultivar en el laboratorio.
- Responden rápidamente a los tensores ambientales.
- Varían poco genéticamente.

### **2.1.4. Tratamiento de resultados.**

#### ***2.1.4.1. Análisis de resultados de la identificación de macroinvertebrados.***

##### *2.1.4.1.1. Curva de especies.*

En una curva de acumulación de especies, la incorporación de nuevas especies al inventario se relaciona con alguna medida del esfuerzo de muestreo, cuanto mayor sea el esfuerzo, el número de especies colectadas será mayor y la adición de especies al inventario se produce rápidamente, a medida que prosigue el muestreo son las especies raras, así como los individuos de especies provenientes de otros lugares, los que hacen crecer el inventario. En el momento en el que la pendiente de la curva llega a cero se puede decir que se han hallado el número total de especies posibles en la zona (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).

## CALIDAD DEL AGUA

### 2.1.4.1.2. *Biological Monitoring Working Party (BMWP).*

El BMWP fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores (G. Roldán, 2003).

La bioindicación en Colombia se remonta a los años setenta con los trabajos de Roldán, et al.,(1973), cuando por primera vez se realizó un estudio de la fauna de macroinvertebrados como indicadores del grado de contaminación del río Medellín. Posteriormente Matthias y Moreno (1983) realizaron un estudio fisicoquímico y biológico del mismo río utilizando los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Bohórquez y Acuña, (1984) realizaron los primeros estudios para la sábana de Bogotá. Roldán (1988) publicó la primera guía para la identificación de los macroinvertebrados acuáticos en el departamento de Antioquia, y luego se comprobó su aplicación para la mayoría de los países neotropicales. También en 1992 publicó el libro *Fundamentos de Limnología Neotropical* y posteriormente adaptó el sistema del BMWP para evaluar la calidad del agua en Colombia mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos. Zúñiga de Cardoso (1997) hicieron una adaptación de esta metodología para algunas cuencas del valle del Cauca. Reinoso (1998) realizó un estudio del río Combeima en el departamento del Tolima. Después Zamora (1999) realizó una adaptación del índice BMWP para la evaluación de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia, y finalmente, Roldán (2001) adaptó el sistema para la cuenca de Piedras Blancas en el departamento de Antioquia (G. Roldán, 2003).

El BMWP es un índice de fácil uso y aplicación, donde las familias de los macroinvertebrados acuáticos se ordenan en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia se le hace corresponder una puntuación que oscila

## CALIDAD DEL AGUA

entre 10 y 1. Con este sistema de puntuación es posible comparar la situación relativa entre estaciones de muestreo. Sin embargo, no permite emitir juicios respecto a la calidad del recurso hídrico. Por esta razón se correlacionaron los valores del BMWP con cinco grados de contaminación, asignándoles un significado con respecto a la misma (Álvarez & Pérez, 2007).

Para Colombia, Roldan (2003) realizó una adaptación del BMWP, la cual se presenta en la Tabla 2, mostrando el puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (G. Roldán, 2003).

*Tabla 2.*

*Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.*

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

Fuente: (G. Roldán, 2003)

## CALIDAD DEL AGUA

Para determinar el grado de contaminación por medio de BMWP/Col se realiza una identificación de los macroinvertebrados hasta el grado de familia y por medio de presencia/ausencia y los valores de cada familia establecidas se llega a una correlación donde se determina el grado de contaminación de la fuente hídrica por medio de la Tabla 3.

*Tabla 3.*

*Grado de contaminación según índice BMWP/Col.*

CLASE	CALIDAD	BMWP	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	>120	Aguas limpias	Blue
		101-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
II	Aceptable	61-100	Evidentes algunos efectos de contaminación	Green
III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	Yellow
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Orange
V	Muy Crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Red

Fuente: (G. Roldán, 2003)

### 2.1.4.1.3. Índice biótico ICOBIO.






El índice biótico ICOBIO permite comparar condiciones hidrobiológicas entre puntos de muestreo, indicando alguna alteración entre puntos de seguimiento. Tiene en cuenta las especies de macroinvertebrados encontradas en cada una de las estaciones de muestreo mediante la comparación de estaciones, estableciendo un valor de acuerdo al número de familias comunes (Torres, 2008).

Los resultados son valorados en una escala numérica entre 0 y 1 de la misma forma que se hace con los índices de contaminación y calidad (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997), ver Tabla 4.

## CALIDAD DEL AGUA

Tabla 4.

*Valoración de los niveles de contaminación.*

Nivel de contaminación	Rango de valores	Color
Ninguno	0 - 0.2	
Bajo	0.2 - 0.4	
Medio	0.4 - 0.6	
Alto	0.6 - 0.8	
Muy alto	0.8 - 1	

Fuente: (Ramírez et al., 1997)

#### 2.1.4.1.4. Índices biológicos

Para los estudios de calidad de agua a partir de macroinvertebrados se han utilizado índices biológicos, relacionados con la diversidad, riqueza, dominancia y uniformidad. En la Tabla 5 se presenta una descripción de los índices utilizados en el presente estudio.

Tabla 5.

*Índices biológicos.*

Índice biológico	Descripción
Dominance_D	1-índice Simpson. El rango va de 0 (todos los taxones son igualmente presentes) a 1 (un taxón domina la comunidad por completo).
Simpson_1-D	1-Dominance. Índice de la diversidad de las especies. El rango va de 0 a 1.
Shannon_H	Índice de diversidad. Tiene en cuenta el número de individuos como el número de taxones. Varía desde 0 para las comunidades con un solo taxón a valores altos para las comunidades con muchos taxones, cada una con unos pocos individuos.
Margalef	Índice de riqueza
Equitability_J	Es la diversidad de Shannon dividida por el logaritmo del número de taxones. Mide la uniformidad con la que los individuos se dividen entre los taxones presentes. El rango va de 0 a 1.

Fuente: (Magurran, 2004),(Hummer Oyvind, Harper David, 2001).

## CALIDAD DEL AGUA

### **2.1.4.2. Estadística descriptiva.**

#### **2.1.4.2.1. Diagrama de cajas y bigotes.**

Las gráficas de cajas y bigotes o boxplot, buscan explicar los datos por medio de una dispersión de todos los puntos de una muestra. Los "brazos" son los dos extremos opuestos de los datos. Se utilizan para variables continuas (Montgomery, 2003).

El lado inferior del rectángulo representa el primer cuartil, y el lado superior, el tercer cuartil. En consecuencia, la altura de la caja representa el rango intercuartilico. La línea horizontal a través de la caja es la mediana. Las líneas verticales que sobresalen de la caja, se extienden, respectivamente, hasta al mínimo y el máximo del conjunto de datos, siempre que estos valores no difieren de la media. Los extremos de los bigotes están marcados por dos líneas horizontales cortas (Montgomery, 2003).

## **2.2. Marco contextual**

### **2.2.1. Definición del problema**

El Santuario de Fauna y Flora de Iguaque es un área protegida de Colombia, la cual es definida por la Ley 165 de 1994 como aquella: definida geográficamente, que haya sido designada, regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación (Congreso de la República, 1994). Posteriormente, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), hace evolucionar el concepto hacia: Un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados (Consejo Nacional de Política Económica y Social Conpes, 2010).

## CALIDAD DEL AGUA

El SPNN es el encargado de garantizar las condiciones de un área protegida en Colombia, por lo que se hace necesario el constante monitoreo y control de la calidad de los recursos y de las actividades que se llevan a cabo en las zonas protegidas. Pero en los últimos años el SFFI recibió constantes reclamos por parte de los usuarios que se benefician de la captación de agua proveniente de la quebrada Mamarramos, por presencia de coliformes. Para dar respuesta a las quejas de los usuarios, los administrativos del Santuario implementaron un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con el fin de mejorar la calidad de la misma y asegurar que la bocatoma del último punto de estudio para la vereda y Municipio de Capilla, cumpla con la legislación para uso de potabilización, según el decreto 1575 de 2007 que establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.

### **2.2.2. Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN).**

El Sistema de Parques Nacionales Naturales es el conjunto de áreas protegidas, actores sociales, estrategias e instrumentos de gestión que las articulan, para contribuir como un todo al cumplimiento de los objetivos de conservación del país. Incluye todas las áreas protegidas de gobernanza pública, privada o comunitaria, y del ámbito de gestión nacional, regional o local (Ministerio del medio ambiente, 2015).

Para consolidar al SINAP como un sistema representativo, completo y eficazmente gestionado, los elementos determinantes en su conformación son (Ministerio del medio ambiente, 2015):

- Las autoridades competentes de los diferentes niveles de gestión;

## CALIDAD DEL AGUA

- Las personas naturales o jurídicas, públicas, privadas, mixtas o comunitarias, representadas en las distintas formas de gobierno de las categorías de áreas protegidas.
- Los sistemas regionales y los subsistemas que de ellos se deriven conforme a los criterios determinados por la Unidad de Parques Nacionales Naturales. Los distintos tipos de subsistemas o niveles de gestión de áreas protegidas en los ámbitos de carácter nacional, regional, departamental, municipal, provincial, metropolitano o de cualquier otra índole territorial que se establezca, pero que tendrán como referente permanente un sistema nacional coordinado por la Unidad de Parques.
- Las diversas categorías de manejo de áreas protegidas que integran el SINAP.
- Las instancias y mecanismos de coordinación y articulación del SINAP entre los diferentes actores, y las interacciones entre éstos.
- Los principios, fines, derechos y deberes ambientales contenidos en la Constitución Política.
- Los instrumentos de desarrollo de la política ambiental en esta materia, como las normas, la planeación, los instrumentos económicos, financieros, las herramientas legales para la conservación en tierras de propiedad privada, la información, capacitación, educación, divulgación e investigación, entre otros.

### **2.2.3. Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá/Colombia).**

Se localiza en el corredor de páramos y bosques Iguaque-Guativa-La Rusia del centro-occidental de la cordillera Oriental de los Andes colombianos, entre los departamentos de Boyacá y Santander. Orográficamente enmarcado dentro del Macizo de Iguaque, localmente

## CALIDAD DEL AGUA

cubre parte de los municipios de Villa de Leyva, Arcabuco y Chíquiza, departamento de Boyacá.

En el sur, imperan las condiciones climáticas secas del enclave seco de Villa de Leyva, mientras en el norte se caracteriza por ser más húmedo (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2015).

Con altitudes entre 2.400 y 3.800 m.s.n.m., el territorio del SFFI y su área de influencia, constituyen una de las áreas de mayor presencia de roble en el país; adicionalmente, se destaca la presencia de siete lagunas de origen glaciar, dentro de las cuales se encuentra la laguna de Iguaque, elemento natural asociado a la mitología Muisca, por considerarse la cuna de la humanidad (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2015).

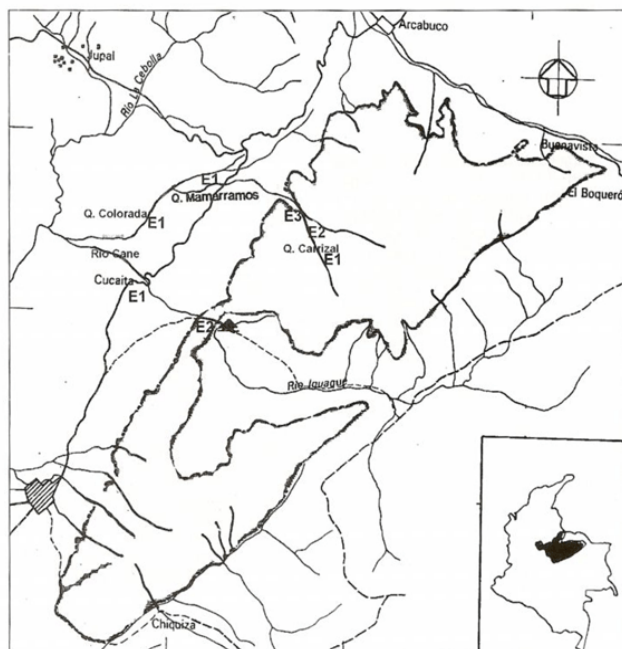


Figura 4. Ubicación del Santuario de Fauna y Flora de Iguaque.

Fuente: (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2006a)

### 2.2.3.1. Hidrografía e hidrología.

En la parte norte del SFFI, se encuentran la mayoría de afluentes o quebradas provenientes del páramo que surten los acueductos de los municipios de Chíquiza y Arcabuco.

## CALIDAD DEL AGUA

De igual manera en la parte central se cruza el río Cane o Iguaque, el cual abastece a los acueductos rurales y urbanos del municipio de Villa de Leyva (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2015).

La Cuenca Cane-Iguaque está compuesta por cinco subcuencas hidrográficas: La Cebada, El Roble, Campo-hermoso, Iguaque y La Colorada (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2006b). Se dividen, como se observa en la Figura 5:

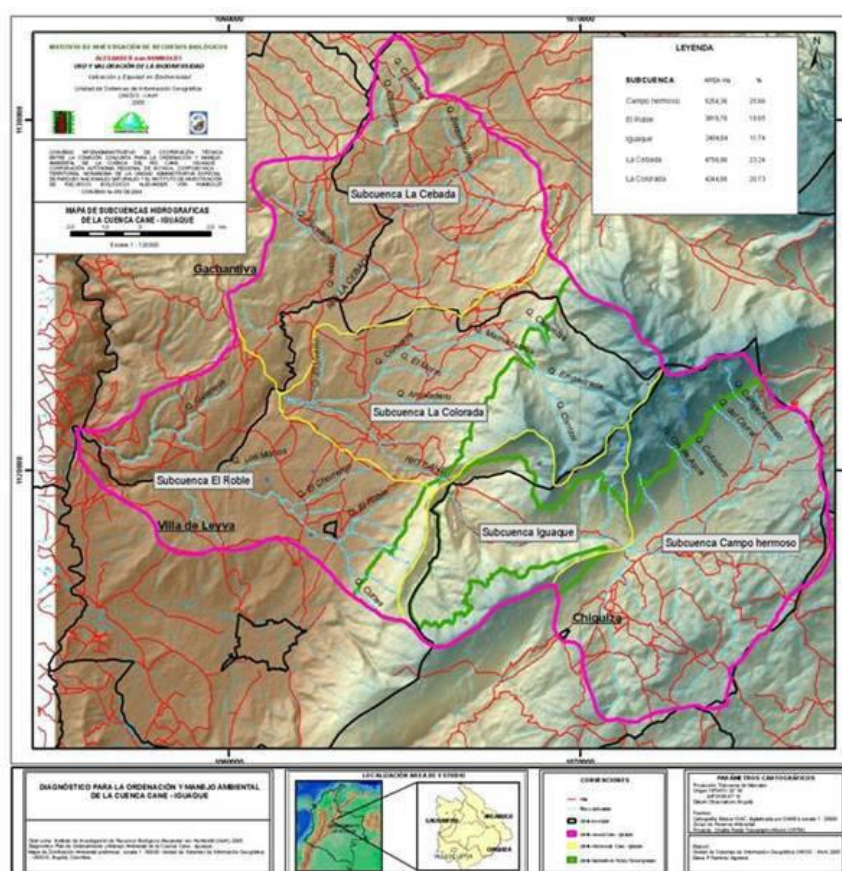


Figura 5. Mapa de las Subcuencas de la Cuenca Cane-Iguaque.

Fuente: (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2006b)

## CALIDAD DEL AGUA

### 2.2.3.2. *Fauna.*

En algunas zonas poco intervenidas, se puede encontrar fauna silvestre como faras (*Didelphis pernigra* J.A), murciélagos frugívoros (*Genus carollia*), ardillas (*Sciurus vulgaris*), armadillos (*Dasybus novemcinctus*), conejos silvestres (*Oryctolagus cuniculus*), curíes (*Cavia porcellus*), borugos (*Agouti taczanowskii*), zorros (*Vulpes vulpes*) y venados (*Odocoileus virginianus*). Entre las aves se destacan alondras (*Alauda arvensis Linnaeus*), perdices (*Alectoris rufa*), pavas (*Penelope spp*), tucanes verdes (*Ramphastos toco*), tangaras (*Tangara*), patos (*Anas platyrhynchos*), colibríes (*Colibri coruscans*), clarineros (*Anisognathus lacrymosus yariguierum*) y, ocasionalmente, las caicas migratorias de América del Norte y algunas especies endémicas (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2015).

### 2.2.3.3. *Flora.*

En los bosques, las principales especies vegetales son: roble (*Quercus robur*), frailejón (*Espeletia pycnophylla*), gaque (*Clusia multiflora* Kunth), sietecueros (*Tibouchina lepidota*), canelón (*Raponea lorentziana*), tobo (*Escallonia paniculata*), tinto (*Capparis odoratissima* Jacq), pino hayuelo, pino romerón (*Retrophyllum rospigliosii*), encenillo (*Weinmania tomentosa*), musgos (*Bryophyta sensu stricto*), líquenes (*Xanthoria parietina*), quiches (*Tillandsia andreana*), orquídeas (*Orchidaceae*) y helechos (*Pteridium aquilinum*). En el páramo sobresalen los frailejones (*Espeletia pycnophylla*), los pajonales (*Paspalum quadrifarium*) y el mortiño (*Vaccinium floribundum*)(Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2015).

### 2.2.3.4. *Características climatológicas.*

El SFFI presenta alturas entre los 2.400 y 3.800 m.s.n.m., posee una temperatura entre 4°C – 12°C que corresponde a clima frío. La zona correspondiente al área de estudio, posee una

### CALIDAD DEL AGUA

humedad relativa de 68,5% y una precipitación media anual de 1150 – 1650 mm, con máximos durante abril, octubre y noviembre y épocas de lluvias moderadas durante febrero, marzo, septiembre y diciembre (Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente Colombia, 1990) Figura 6.

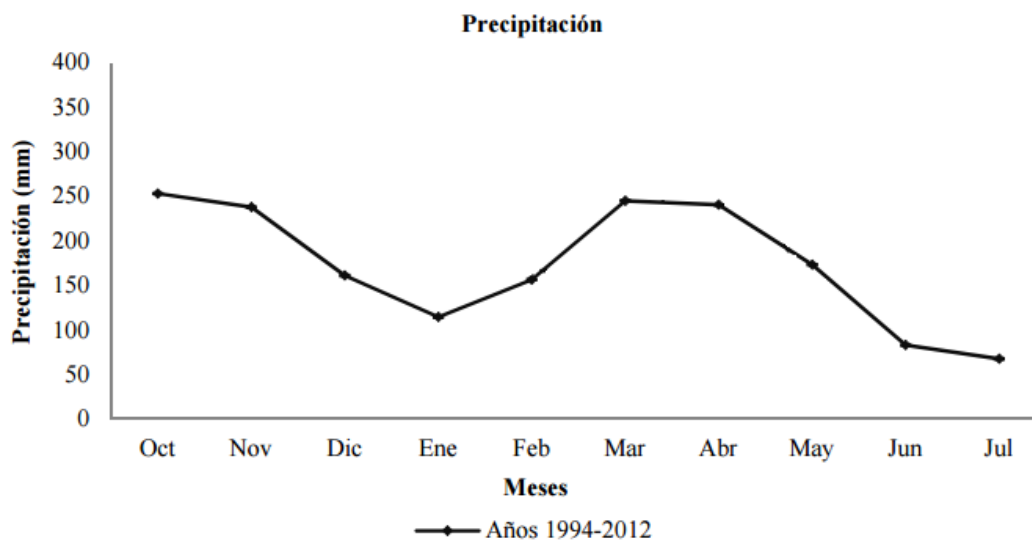


Figura 6. Precipitación promedio mensual multianual (años 1994-2012)

Fuente: (Hernández, Roa, & Cortés, 2014)

El clima de la subcuenca “La Colorada”, según la clasificación climática propuesta por Caldas-Lang Thornthwaite, presenta tres tipos de clima: Frio Húmedo; Muy Frio y Frio Húmedo; y Muy Frio Superhúmedo, ver Tabla 6.

Tabla 6.

#### Climatología de la Subcuenca “La Colorada”

Climatología			
Clima	Altitud (msnm)	Temperatura	Precipitación Media Anual
<b>Frío húmedo (FH)</b>	2000-3000	12°C -18°C	menor a 1900 mm
<b>Muy frío y Frío húmedo (MFFh)</b>	3000-4200	9°C - 14°C	menor a 1900 mm
<b>Muy frío y Super húmedo (MFsh)</b>	3000-4200	6°C - 9°C	menor a 1300 mm

## CALIDAD DEL AGUA

Fuente: (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2006a)

### 2.2.3.5. *Plan de manejo del Santuario de Fauna y Flora Iguaque.*

El Plan de manejo del Santuario de Fauna y Flora Iguaque está enfocado al cumplimiento de los objetivos del SPNN, como se presenta en la Tabla 7:

Tabla 7.

#### *Objetivos de conservación.*

OBJETIVOS SPNN	OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN SFFI
<p><b>BIODIVERSIDAD.</b> Asegurar la continuidad de los procesos evolutivos y el flujo genético necesario para preservar las especies biológicas terrestres y acuáticas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservar los ecosistemas naturales de vegetación seca andina, robledales, bosque andino y altoandino, paramos y humedales altoandinos del SFFI, ubicado en la gran región Neotropical en la Provincia Biogeográfica Norandina, con los Distritos Biogeográficos: Andino oriental, Páramos Cordillera Oriental, y con la presencia del bioma andino seco oriental, para garantizar la presencia de las especies representativas, de características endémicas y amenazadas de flora y fauna.</li> </ul>
<p><b>BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES</b> Garantizar la oferta de Bienes y Servicios ambientales esenciales para el desarrollo humano.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservar la oferta hídrica como elemento fundamental del desarrollo regional y eje cultural de las poblaciones locales.</li> <li>• Proveer espacios y escenarios naturales para la educación ambiental, recreación, ecoturismo, pedagogía e investigación.</li> </ul>
<p><b>CULTURALES</b> Garantizar la permanencia del medio natural como fundamento de la integridad y pervivencia de las culturas tradicionales del país.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconocer y fortalecer patrones culturales que mantienen usos adecuados del medio ambiente y que garantizan sostenibilidad ambiental del área protegida y su región de influencia.</li> <li>• Reconocer participativamente y fortalecer la transmisión del legado cultural, histórico y arqueológico de la cultura Muisca y campesina vinculada al SFFI</li> </ul>

Fuentes: (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2006a)

## 2.3. Marco legal

### 2.3.1. Actos administrativos de declaración del área, límites y reglamentos.

En el mes de junio de 1977, con el objeto de preservar especies, comunidades vegetales y animales, con fines científicos, educativos y para conservar recursos genéticos de la flora y fauna, mediante la Resolución Ejecutiva No. 173 de Junio de 1977, aprobatoria del Acuerdo 033 de mayo 2 de 1977 de la Junta Directiva del INDERENA, se declara, delimita y reserva el

### CALIDAD DEL AGUA

Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, con una extensión de 6750 Hectáreas. En el artículo primero se alinda el Santuario, en el segundo se reserva como área protegida del SPNN. En el tercero se declara de utilidad pública el área alinderada. Esta Resolución del Gobierno Nacional -Ministerio de Agricultura-, asigna el manejo y administración al INDERENA, y prescribe la expropiación de tierras cuando fuere del caso, deja a salvo derechos adquiridos y establece que para su validez, sea publicado en el Diario Oficial y en las cabeceras de Tunja, Villa de Leyva y Arcabuco e inscrito en la Oficina de Registro de Instrumentos Públicos y Privados de los Circuitos respectivos (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2006a).

## CALIDAD DEL AGUA

**3. Metodología**

El presente proyecto se realizó en época climática seca (octubre, noviembre y diciembre), debido a las alteraciones que sufrió el ciclo climático por el fenómeno del niño del año 2015, el cual originó incendios forestales y sequías que afectaron la zona de estudio. Se realizaron tres muestreos, con intervalos de aproximadamente 15 días, para permitir la recuperación de las poblaciones de macroinvertebrados, según su ciclo de vida.

**3.1. Fase I: Campo**

El trabajo de campo tuvo tres etapas de muestreo, cada una con 10 puntos de monitoreo de la microcuenca Mamarramos, que involucra las quebradas Carrizal, Los Francos y Mamarramos.

En la Tabla 8 se presenta la ubicación georreferenciada, altitud y una breve descripción de los puntos de monitoreo:

*Tabla 8.*

*Nombre, nomenclatura, altitud, subcuenca y coordenadas de las estaciones de muestreo.*

<i>Nombre, nomenclatura, altitud, subcuenca y coordenadas de las estaciones de muestreo</i>						
<i>Estación de muestreo</i>	<i>Nombre de la estación</i>	<i>Altitud msnm</i>	<i>Cuenca</i>	<i>Subcuenca</i>	<i>Coordenadas Geográficas</i>	
					<i>LN</i>	<i>LO</i>
Quebrada Carrizal, bocatoma centro de visitantes, Anexo 1.	QCS01	3037 ± 8	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 41' 48.2"	73° 27' 95"
Quebrada Carrizal, aguas abajo del campo de infiltración del centro de visitantes, Anexo 2.	QCS02	2897 ± 4	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 11"	73° 27' 25.5"
Quebrada Carrizal, aguas abajo del campo de infiltración del área administrativa, Anexo 3.	QCS03	2839 ± 3	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 26.6 "	73° 27' 28.6"
Quebrada Carrizal, aguas arriba de la confluencia con la Quebrada los Francos, Anexo 4.	QCS04	2827 ± 3	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 29.4"	73° 27' 28.7"

## CALIDAD DEL AGUA

Quebrada los Francos, aguas arriba de la zona de camping, Anexo 5.	QFS01	2860 ± 8	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 15.9"	73° 27' 12"
Quebrada los Francos, aguas arriba del campo de infiltración de la zona de camping, Anexo 6.	QFS02	2856 ± 9	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 33.1"	73° 27' 32.6"
Quebrada los Francos, aguas abajo del campo de infiltración de la zona de camping, Anexo 7.	QFS03	2849 ± 4	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 25.7"	73° 27' 24.4"
Quebrada los Francos, aguas arriba de la confluencia con la Quebrada Carrizal, Anexo 8.	QFS04	2827 ± 3	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 29.4"	73° 27' 28.7"
Quebrada Mamarramos, aguas debajo de la confluencia con las Quebradas los Francos y Carrizal, Anexo 9.	QMS01	2810 ± 4	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 32.6"	73° 27' 31.3"
Quebrada Mamarramos, aguas debajo de la bocatoma del acueducto de "Capilla" y antes del drenaje del desarenador, Anexo 10.	QMS02	2718 ± 3	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 42.5"	73° 27' 54.7"

Fuente: Autores

### 3.1.1. Colecta de macroinvertebrados.

La captura de macroinvertebrados se llevó a cabo por medio de la recolección manual (G. Roldán, 2003), y del método Kick Sampling (Fide, 1989). Los muestreos se realizaron en horas diurnas, de 9:00 am a 5:00 p.m. teniendo en cuenta el horario de mayor actividad de los macroinvertebrados bentónicos. Las actividades de muestreo fueron intensivas, para asegurar la captura de la mayor cantidad de especies representativas en cada punto.

#### 3.1.1.1. *Recolección manual.*

Es un método cualitativo, que consiste en levantar manualmente las rocas, hojas grandes, troncos, ramas del lecho, para examinar con cuidado la superficie de estos, con el fin de encontrar la mayor cantidad de individuos, Figura 7. Se emplean diferentes utensilios que facilitan la captura de los organismos sin causarles daño: el pincel suave es utilizado para la

## CALIDAD DEL AGUA

recolección de organismos; las pinzas se usan para capturar organismos con mayor movimiento, y para macroinvertebrados pequeños se recurre al gotero (G. Roldán, 2003).



*Figura 7. Captura de macroinvertebrados.*

*Fuente: Autores*



### **3.1.1.2. Método Kick Sampling**

La captura de macroinvertebrados también se realizó mediante el método “Kick Sampling” (Fide, 1989), utilizando una red de mano con una malla de apertura de 250  $\mu\text{m}$  y una área de 0.1  $\text{m}^2$ . El método consistió en la introducción de la red de mano al fondo del cuerpo de agua en sentido contrario a la corriente de agua, mientras por delante otra persona remueve y golpea el sustrato dinámicamente, de tal forma que los organismos se asustan y caen en la red; este procedimiento se realizó en un lapso de 10 segundos. Se colectaron tres frascos de muestras durante aproximadamente una hora por estación y tiempo de muestreo. Para complementar la captura también se hicieron recorridos con la red por las orillas, hojarasca, bajo las raíces de las plantas y piedras.

## CALIDAD DEL AGUA

### **3.1.1.3. *Preservación de los macroinvertebrados.***

Para facilitar la identificación de los macroinvertebrados, fue fundamental conservar los individuos, debido a que estos organismos se deterioran fácilmente. Para este estudio se utilizó “TRANSEAU”, una mezcla de agua, alcohol y formol, 6:3:1, respectivamente (Arcos & Gómez, 2006; Corredor & Forero, 2011).

## **3.2. Fase II: Laboratorio**

### **3.2.1. Identificación de macroinvertebrados.**

Los macroinvertebrados colectados fueron identificados hasta el nivel de familia, utilizando dos estereoscopios: el primero marca Nikon SMZ 745 T, acompañado de un sistema de iluminación NI-150 Nikon Instrumets Inc., y el segundo marca LEICA SGE., claves taxonómicas y guías de campo de Roldán (G. Roldán, 2003), Merrit & Cummins (1983), Roldán (G. Roldán, 1988), McCafferty (1996), y Fernández & Domínguez (Dominguez & Fernández, 2009), Salcedo y Trama (Salcedo & Trama, 2014), Springer (Springer, Ramírez, & Hanson, 2010), Bouchart (Bouchard, 2004), Clifford (Clifford, 1991). Para la toma de las microfotografías de los macroinvertebrados acuáticos se utilizó la cámara Nikon Digital Sight.

## **3.3. Fase III: Tratamiento de resultados**

### **3.3.1. Macroinvertebrados.**

#### **3.3.1.1. *Curva de especies.***

Para la realización de la curva de especies se utilizó el software EstimateS 8.2. (Colwell, 2009), el cual calculó MMMeans run1, que representa los valores esperados de riqueza para el monitoreo, como lo especifica el programa. Los cálculos se ejecutaron a partir del número total de especies colectadas en el presente estudio.

## CALIDAD DEL AGUA

Según los valores obtenidos (MMMeans run1) por EstimateS 8.2., se procedió a realizar una gráfica de dispersión, mostrando la línea de tendencia más aproximada, con el fin de obtener la ecuación de la curva, que relaciona el número de puntos de muestreo y el número de especies, para hallar el porcentaje de las familias encontradas en el monitoreo.

### 3.3.1.2. *Biological Monitoring Working Party (BMWP).*

Con los organismos colectados, debidamente identificados y cuantificados se elaboró un cuadro para registrar la información de familia, número de organismos y puntos de muestreo en el SFFI. A cada familia se le asignó el valor que correspondía al BMWP/Col según Roldan (2003) Tabla 2. Por medio de presencia/ausencia se realizó la ponderación para llegar al grado de contaminación de la fuente hídrica según la Tabla 3.

### 3.3.1.3. *Índices biológicos.*

Para explorar la estructura de la comunidad se analizó la composición y riqueza de taxas, identificando densidad y distribución de abundancias por estación de muestreo, para ello se aplicaron índices relacionados con diversidad, riqueza, uniformidad y dominancia. La determinación de los índices biológicos se llevó a cabo con el uso del software PAST v3.09 (Hummer Oyvind, Harper David, 2001), basado en las siguientes fórmulas para el cálculo de los respectivos índices Tabla 9. Para la representación gráfica de los índices se utilizó el software R (Crawley, 2007).

*Tabla 9.*

*Fórmulas índices biológicos.*

Índice biológico	Fórmula
Dominance_D	$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{n}\right)^2$ , donde $n_i$ es el número de individuos del taxón $i$ .

## CALIDAD DEL AGUA

Simpson_1-D	$Simpson = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$ , donde S es el número de especies, N es el total de organismos presentes, n es el número de ejemplares por especie.
Shannon_H	$H = -\sum_i \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}$ , donde ni es el número de individuos del taxón i.
Margalef	$Margalef = \frac{(S-1)}{\ln(n)}$
Equitability_J	$J = \frac{H'}{H'_{max}}$

Fuente: Autores, (Hummer Oyvind, Harper David, 2001),(Magurran, 2004).

### 3.3.1.4. Índice biótico ICOBIO.

El índice biótico ICOBIO se realizó mediante la aplicación del software Icatest v1.0.0.44 (Universidad de Pamplona, 2013), como una herramienta que facilitó los procedimientos de cálculo. Para la determinación del índice el programa se basa en:

3.3.1.4.1. *Densidad mediante el índice de disimilaridad de Bray y Curtis*  
(1957).

$$D = \frac{\sum |X_{i.ar} - X_{i.ab}|}{\sum (X_{i.ar} + X_{i.ab})}$$

Donde:

D= Similaridad entre las dos estaciones.

X<sub>i.ar</sub>= Densidad del taxón i aguas arriba.

X<sub>i.ab</sub>= Densidad del taxón i aguas abajo.

### 3.3.2. Correlación entre resultados.

Los datos de los índices fisicoquímicos se tomaron del proyecto titulado “Construcción de un Índice de Calidad Ecológica para la Microcuenca Mamarramos (Boyacá Colombia) a Partir del Análisis Multivariante de Parámetros”, ver Tabla 10; los de diversidad, equidad,

CALIDAD DEL AGUA  
 disimilaridad y BMWP fueron comparados entre sí, para identificar el nivel de contaminación  
 del cuerpo hídrico.

Tabla 10.

Índices de contaminación.

		QCS01	QCS02	QCS03	QCS04	QFS01	QFS02	QFS03	QFS04	QMS01	QMS02
<b>PRIMER</b>	<b>ICOMI</b>	0.025	0.023	0.022	0.016	0.01	0.059	0.053	0.047	0.026	0.024
	<b>ICOMO</b>	0.15	0.1	0.1	0.292	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
	<b>ICOPH</b>	0.0039	0.0027	0.0002	0.0014	0.0027	0.0002	0.0010	0.0007	0.0019	0.0014
	<b>ICOSUS</b>	0	0.022	0	0	0	0	0	0.037	0	0
<b>SEGUNDO</b>	<b>ICOMI</b>	0.019	0.021	0.02	0.016	0.008	0.03	0.03	0.027	0.023	0.022
	<b>ICOMO</b>	0.05	0.1	0.1	0.15	0.1	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
	<b>ICOPH</b>	0.0019	0.0027	0.0027	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0010	0.0001
	<b>ICOSUS</b>	0	0	0	0	0.013	0	0	0	0	0
<b>TERCER</b>	<b>ICOMI</b>	0.019	0.017	0.017	0.015	0.008	0.04	0.038	0.037	0.022	0.021
	<b>ICOMO</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>ICOPH</b>	0.0010	0.0001	0.0003	0.0005	0.0005	0.0005	0.0007	0.0014	0.0014	0.0010
	<b>ICOSUS</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: “Construcción de un Índice de Calidad Ecológica para la Microcuenca Mamarramos (Boyacá Colombia) a

Partir del Análisis Multivariante de Parámetros”

## CALIDAD DEL AGUA

## 4. Resultados y discusión

## 4.1. Macroinvertebrados acuáticos

## 4.1.1. Curva de taxones.

Con los datos obtenidos de las actividades de muestreo se elaboró la curva de acumulación de taxones, en donde se registraron la cantidad de taxones capturados en cada punto. La Figura 8 muestra la curva de acumulación de taxones y la ecuación de la curva para el monitoreo.

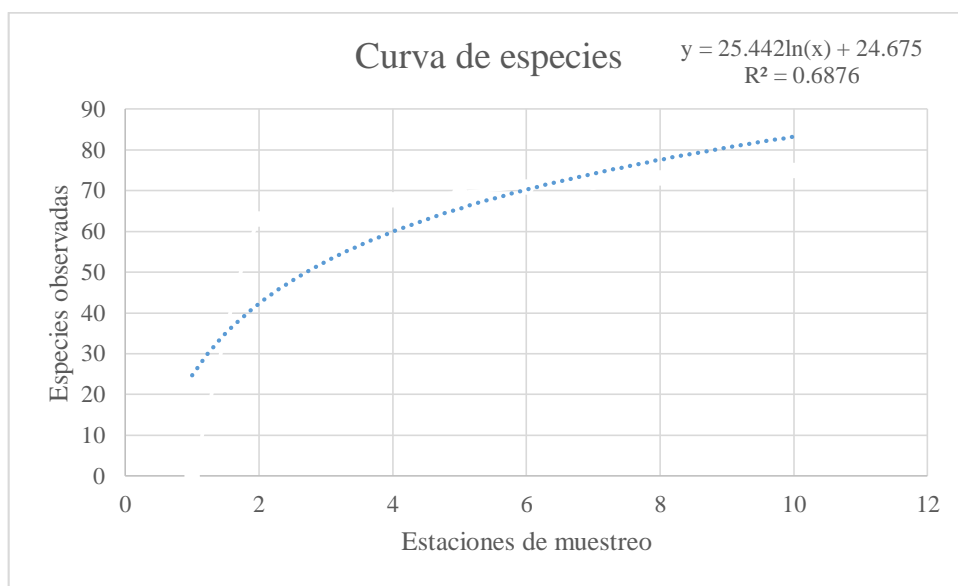


Figura 8. Curva de acumulación de taxones para el monitoreo.

Fuente: Autores.

Teóricamente cuando el valor obtenido a partir de la curva de acumulación de taxones está por encima de 70% se considera que tiene alta representatividad (Moreno-Arias & Quintero-Corzo, 2015). En el presente estudio el valor de la curva de acumulación de taxones fue de 83%; este valor indica el porcentaje de taxones colectados, demostrando que el número de puntos de monitoreo y las actividades relacionadas con la captura de los macroinvertebrados, fueron suficientes para alcanzar una alta representatividad.

## CALIDAD DEL AGUA

**4.1.2. Biological Monitoring Working Party – BMWP.**

Los valores obtenidos para BMWP permiten determinar el grado de contaminación a partir de la presencia/ausencia de las familias capturadas en la zona de estudio. En la Tabla 11 se presentan los valores del BMWP/Col. calculados para cada punto y época de muestreo. A partir de estos resultados se presenta el diagrama de la microcuenca analizada, Figura 9.

**4.1.2.1. Resultados índice BMWP.***Tabla 11.**Resultados índice BMWP para los tres muestreos.*

	QCS01	QCS02	QCS03	QCS04	QFS01	QFS02	QFS03	QFS04	QMS01	QMS02
<b>Primer muestreo</b>	142	170	164	164	141	120	122	<b>119</b>	<b>189</b>	146
<b>Segundo muestreo</b>	161	156	168	141	177	<b>128</b>	179	<b>186</b>	172	160
<b>Tercer muestreo</b>	160	<b>152</b>	154	160	170	<b>152</b>	158	165	165	<b>223</b>

Fuente: Autores.

## CALIDAD DEL AGUA

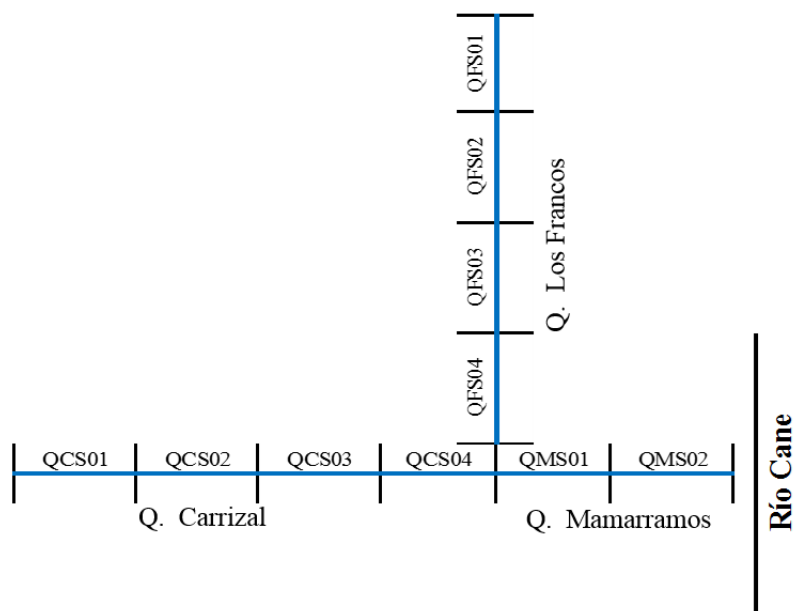


Figura 9. Calidad del agua según el índice BMWP para los tres muestreos.

Fuente: Autores.

#### 4.1.2.2. Análisis de los resultados del índice BMWP/Col.

Según los resultados obtenidos en el presente estudio para el BMWP/Col. la calidad del agua para los tres muestreos por cada punto se mantuvo en BUENA. Dentro de los rangos evaluados por el índice, los valores obtenidos por cada punto de muestreo fueron mayores a 120 durante todo el monitoreo, mostrando AGUAS LIMPIAS, siendo los de mayor ponderación los puntos QMS01 en el primer muestreo, QFS04 en el segundo muestreo, y QMS02 en el tercer muestreo, como se presenta en la Tabla 11. Sin embargo se encontró una cifra menor a 120 en el punto QFS04 en el primer muestreo, clasificándose como aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible. Al analizar la distribución de los datos obtenidos por BMWP sobre la microcuenca Mamarramos se puede observar que la calidad del agua de la quebrada permanece en BUENA desde el punto más cercano al nacimiento, hasta el punto más cercano a la desembocadura en el Río Cane, Figura 9.

## CALIDAD DEL AGUA

Según Luna (2009) los valores de BMWP/Col para la quebrada Carrizal fueron altos, obteniendo una calidad buena. Adicionalmente, el resultado de la aplicación del índice BMWP/Col obtenido en el 2004 para la quebrada Carrizal fue de 176 y para la quebrada Mamarramos fue de 151, lo cual categorizó a estos sistemas como AGUAS LIMPIAS, no contaminadas (Medellin, Ramírez, & Rincón, 2004). Los estudios previos realizados demuestran que las condiciones de las quebradas se mantienen a través del tiempo, posiblemente debido al manejo de los recursos en el SFFI.

### **4.1.3. Índices biológicos.**

A partir de los datos obtenidos (n=10), asumiendo la microcuenca como un único cuerpo de agua, se realizó el cálculo de los índices biológicos, con el objetivo de explorar la estructura de la comunidad de macroinvertebrados. Para el análisis descriptivo se utilizó boxplot, con el objeto de observar si entre los diez puntos existe alguno que permita evidenciar comportamiento claramente diferencial.

#### ***4.1.3.1. Análisis descriptivo y resultados de los índices biológicos.***

La Figura 10, representa un análisis descriptivo del índice de dominancia a partir del uso de boxplot (caja de bigotes). El índice de dominancia maneja un rango entre 0 y 1, siendo 1 el valor que indica la existencia de una especie dominante en la zona de estudio (Magurran, 2004).

Se puede observar que en el primer muestreo el índice de dominancia presenta valores entre 0.08 y 0.18, demostrando que no existe dominancia de alguna familia en los diferentes puntos. Este comportamiento se mantuvo en los siguientes dos muestreos como se aprecia en el Figura 10, sin embargo, en el segundo y tercer muestreo se evidencian dos datos atípicos (valores que se separan del cuerpo de datos), ver Anexo 18, Anexo 19, relacionados a los puntos QMS01 y QCS03, respectivamente. Estos valores atípicos tienen su origen en la presencia de

## CALIDAD DEL AGUA

dos familias con gran número de individuos, en el caso de QMS01, es la familia Helicopsychidae, y en QCS03 es la familia Leptoceridae.

Las familias Helicopsychidae y Leptoceridae, ver Anexo 13 y Anexo 14, se ubican en zonas de alta vegetación, con sustratos musgos y piedras, que representan estabilidad para ser colonizadas. Los puntos QMS01 y QCS03, tenían como característica la abundante vegetación a su alrededor, ver Anexo 9 y Anexo 3, lo que facilitaba la aparición de zonas propicias para el desarrollo de dichas familias. Adicionalmente las larvas de la Familia Leptoceridae son detritívoras o depredadoras y al contar con abundante fuente de alimentación, la presencia de dicha familia es mayor.

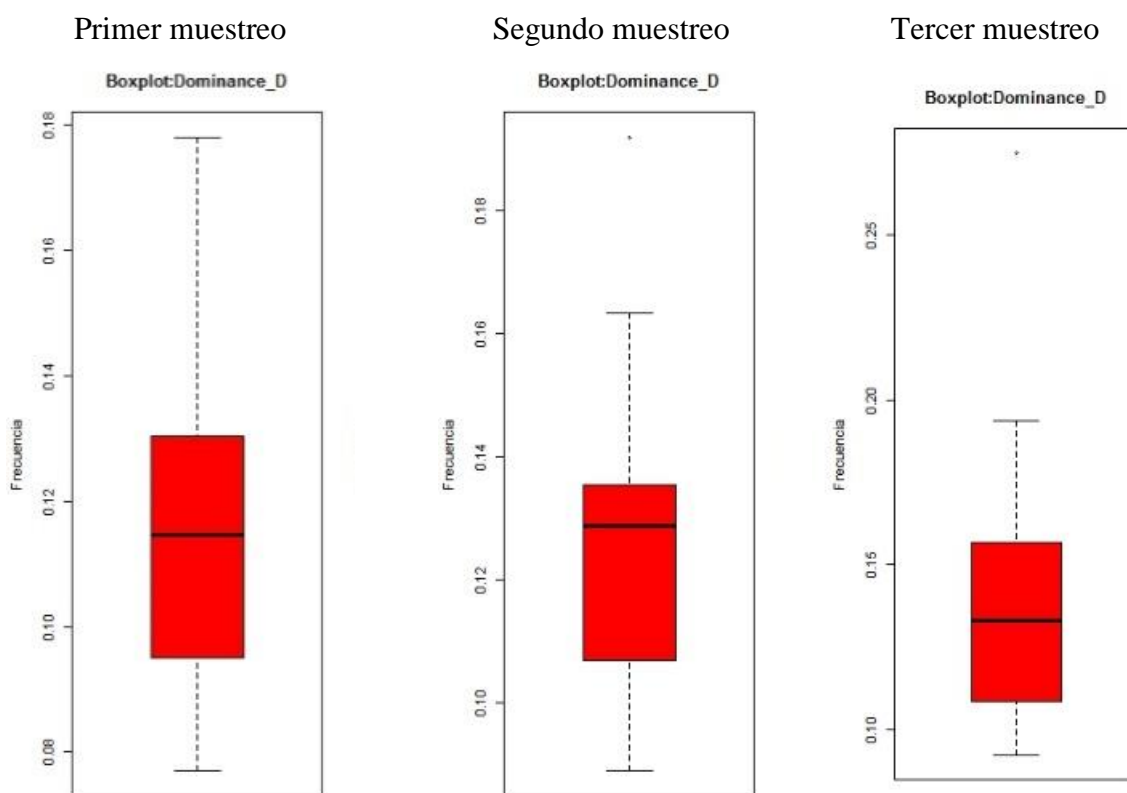


Figura 10. Boxplot de dominancia.

Fuente: Autores.

## CALIDAD DEL AGUA

El índice Simpson se relaciona con la diversidad de las especies, se evalúa de 0 a 1, siendo 1 el valor máximo de diversidad. En el monitoreo se encontró que para cada muestreo sus valores estaban cercanos a 1, con una mediana de 0.8743, demostrando alta diversidad, ver Figura 11. Pese a estos resultados se obtuvieron dos valores atípicos por debajo del compilado de datos, relacionándose con los valores atípicos del índice de dominancia, ya que estos índices tienen una correlación inversa, cuanto mayor sea la dominancia, menor es la diversidad.

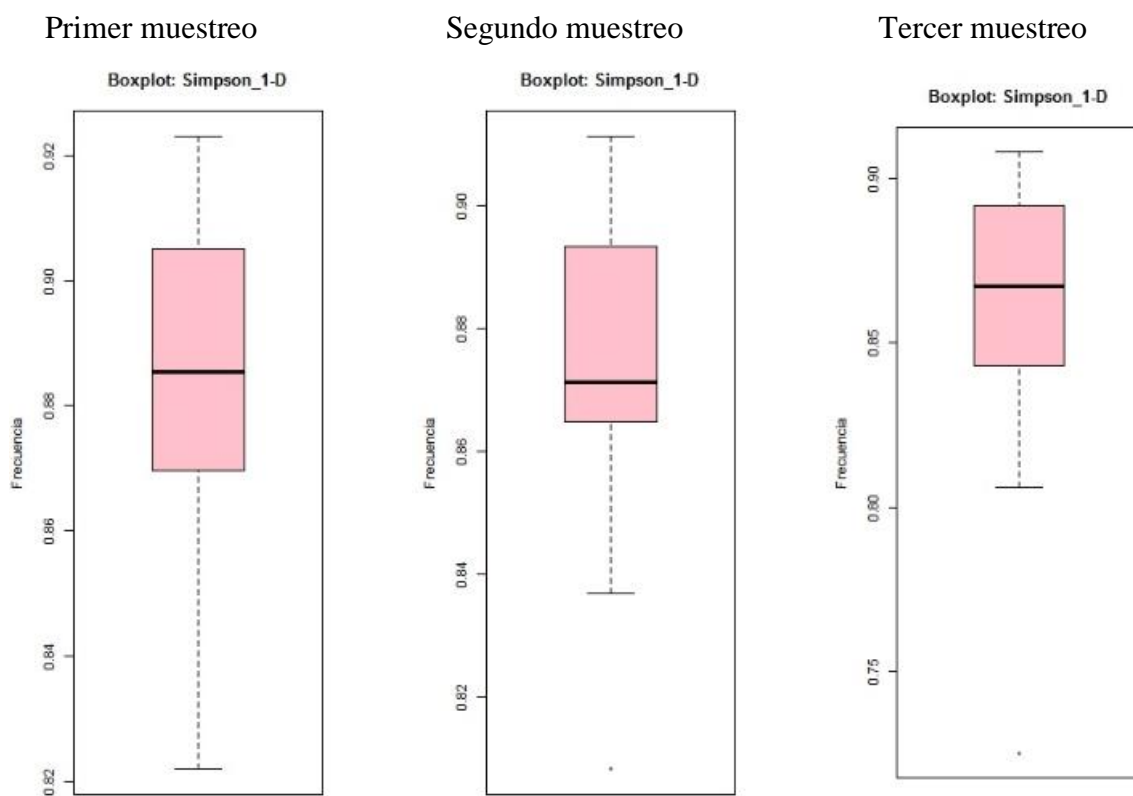


Figura 11. Boxplot de Simpson.

Fuente: Autores.

El índice de Shannon evalúa la diversidad. Para los ecosistemas naturales varía entre 0.5 y 5, y a medida que el valor se aleja de 0 la comunidad biótica (biocenosis) cuenta con alta diversidad. Para los tres muestreos, los resultados de este índice se encontraron en un rango de

## CALIDAD DEL AGUA

2 a 2.7, lo que es considerado como un valor normal para un ecosistema natural (Martella et al., 2012).

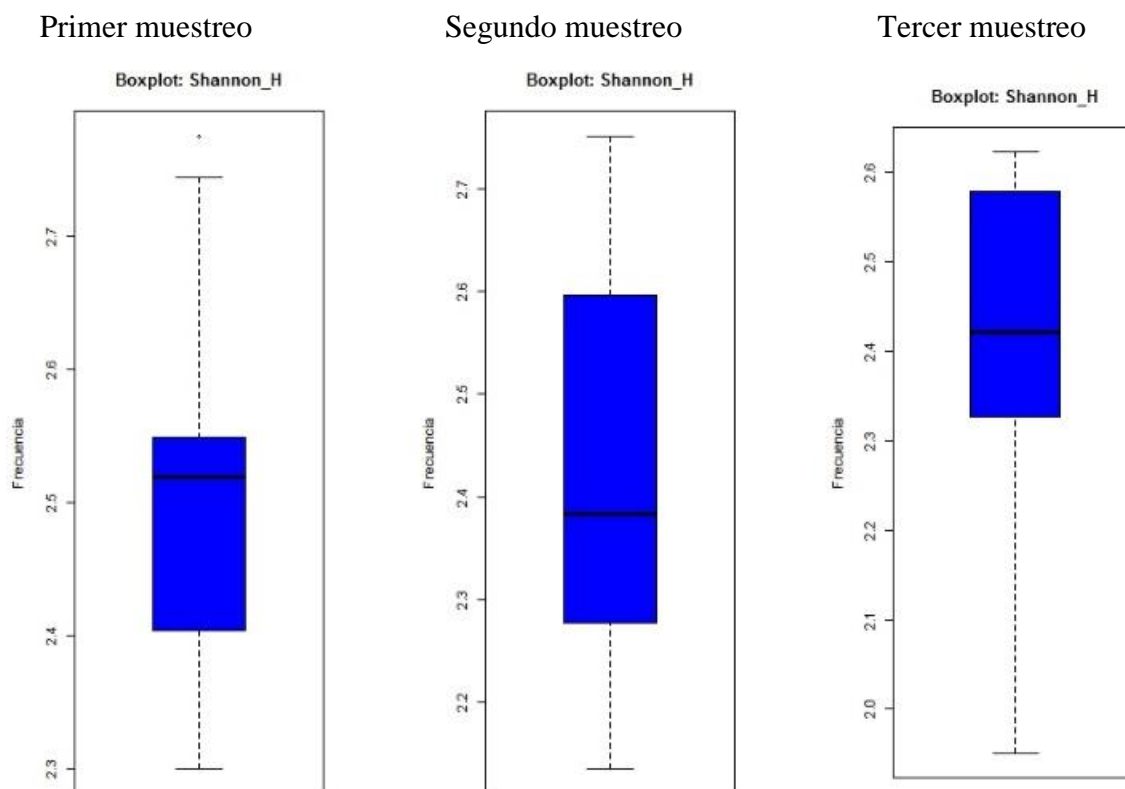


Figura 12. Boxplot de Shannon.

Fuente: Autores.

La riqueza fue evaluada por medio de Margalef, los resultados de mayor ponderación se obtuvieron en los puntos QMS01 en el primer muestreo, QFS04 en el segundo muestreo y QMS02 para el tercer muestreo, identificándose en el Anexo 17, Anexo 18, Anexo 19. Sin embargo los resultados para riqueza en todos los puntos y muestreos mantuvieron un rango entre 3.5 y 5, considerándose que los valores cercanos a seis son valores excepcionalmente altos dentro de un rango de 0 a 10 evaluados por este índice, ver Figura 13. Para este índice se obtuvo un valor atípico en el tercer muestreo, en el punto QMS02, evidenciando la presencia de 34

## CALIDAD DEL AGUA

familias, mientras en los otros puntos de estudio la presencia de las familias variaba entre 22 a 27 familias, ver Anexo 20.

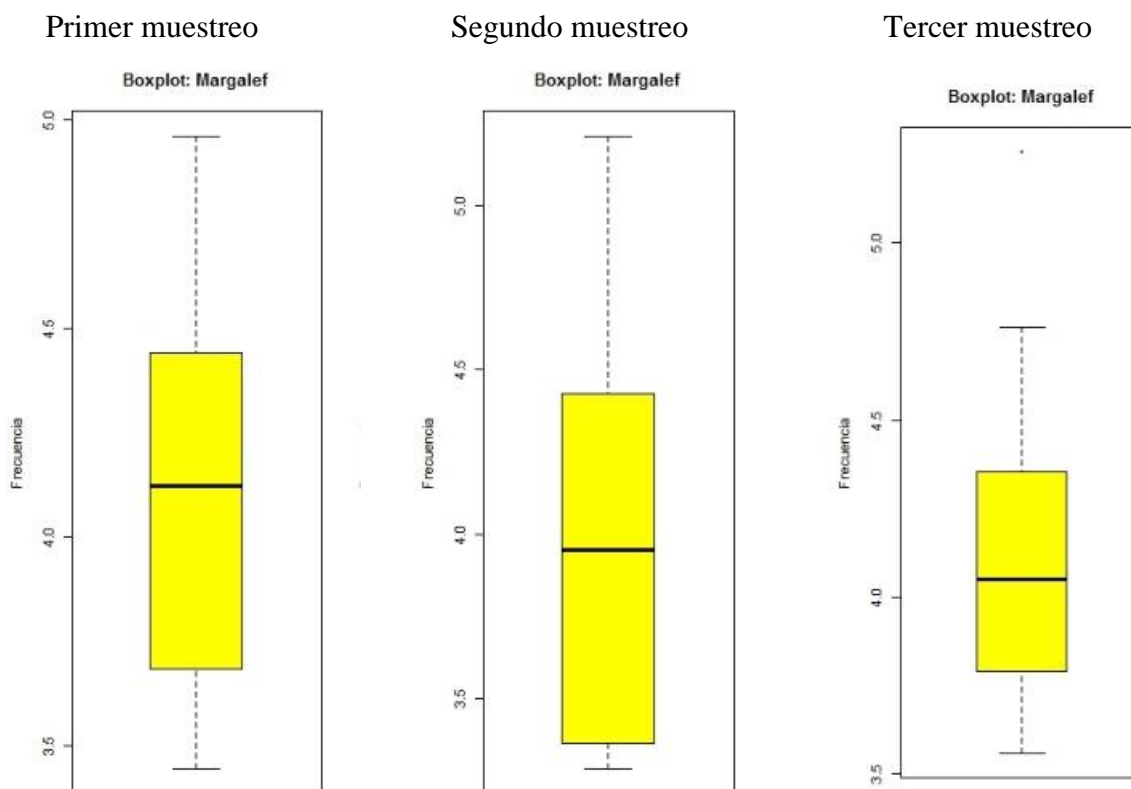


Figura 13. Boxplot de Margalef.

Fuente: Autores.

El índice de equitatividad evalúa la distribución uniforme de los individuos en las familias encontradas en el monitoreo, su rango va de 0 a 1, siendo 1, una comunidad biótica con condiciones equitativas, en el caso de los resultados obtenidos los datos oscilaron entre 0.65 y 0.90, con una mediana para el monitoreo de 0.7897, demostrando la uniformidad con la que los individuos se dividen entre los taxones presentes, ver Figura 14.

El segundo muestreo presenta un valor atípico, que pertenece al punto QMS01, ver Anexo 18, mostrando una equitatividad más baja, lo cual está directamente relacionado con el

## CALIDAD DEL AGUA

dato atípico de la dominancia en el segundo muestreo y mismo punto, indicando que cuando una familia domina, no va a existir una equitatividad y por ende va a haber un menor grado de diversidad, ver Anexo 18.

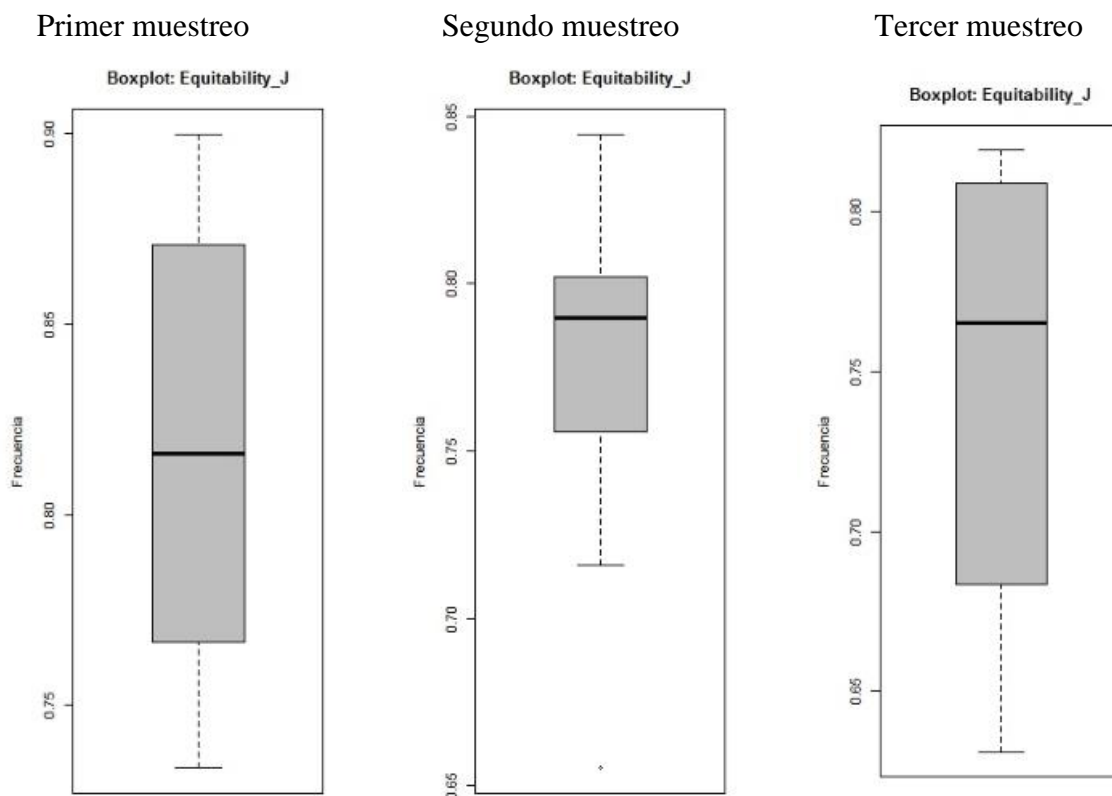


Figura 14. Boxplot de equitatividad.

Fuente: Autores.

### 4.1.3.2. Análisis de los resultados de los índices biológicos.

#### 4.1.4. ICOBIO.

##### 4.1.4.1. Análisis y resultados ICOBIO.

El índice ICOBIO evalúa la disimilitud del ecosistema, teniendo en cuenta la presencia o ausencia de las familias en las diferentes estaciones. Sin embargo, este índice valora el cambio en la composición de las comunidades debido a algún tipo de contaminación en el medio y por lo tanto tiene relación con las condiciones hidrobiológicas entre los puntos de muestreo.

## CALIDAD DEL AGUA

El ICOBIO fue aplicado a siete puntos de muestreo (QCS01, QCS02, QCS03, QFS02, QFS03, QMS01 y QMS02), los cuales fueron escogidos teniendo en cuenta su ubicación aguas arriba y aguas abajo de áreas importantes que pudieran alterar las condiciones de la quebrada, tales como: el centro de visitantes, el área administrativa, los campos de infiltración, la confluencia de las tres quebradas y la bocatoma del municipio de Capilla, Tabla 8.

Al observar la Figura 15, que demuestra la relación entre los puntos QCS01 y QCS02 se evidencia que hay una disimilaridad entre ellos, esto se debe a las condiciones naturales y geográfica de las zonas, ya que en la zona alta (QCS01), ver Anexo 1, hay mayor presencia de cascadas y pocos lugares de remanso, de igual manera en este punto queda la captación de agua para el centro de visitantes, lo que puede alterar las condiciones de la quebrada. Por otra parte el punto QCS02, ver Anexo 2, sí evidencia zonas de remanso y la presencia de un alga grisácea que indica alguna modificación de las condiciones del lugar. De modo que el cambio de altura, la captación de agua y el alga, varió la presencia o ausencia de familias dentro de las comunidades.

## CALIDAD DEL AGUA

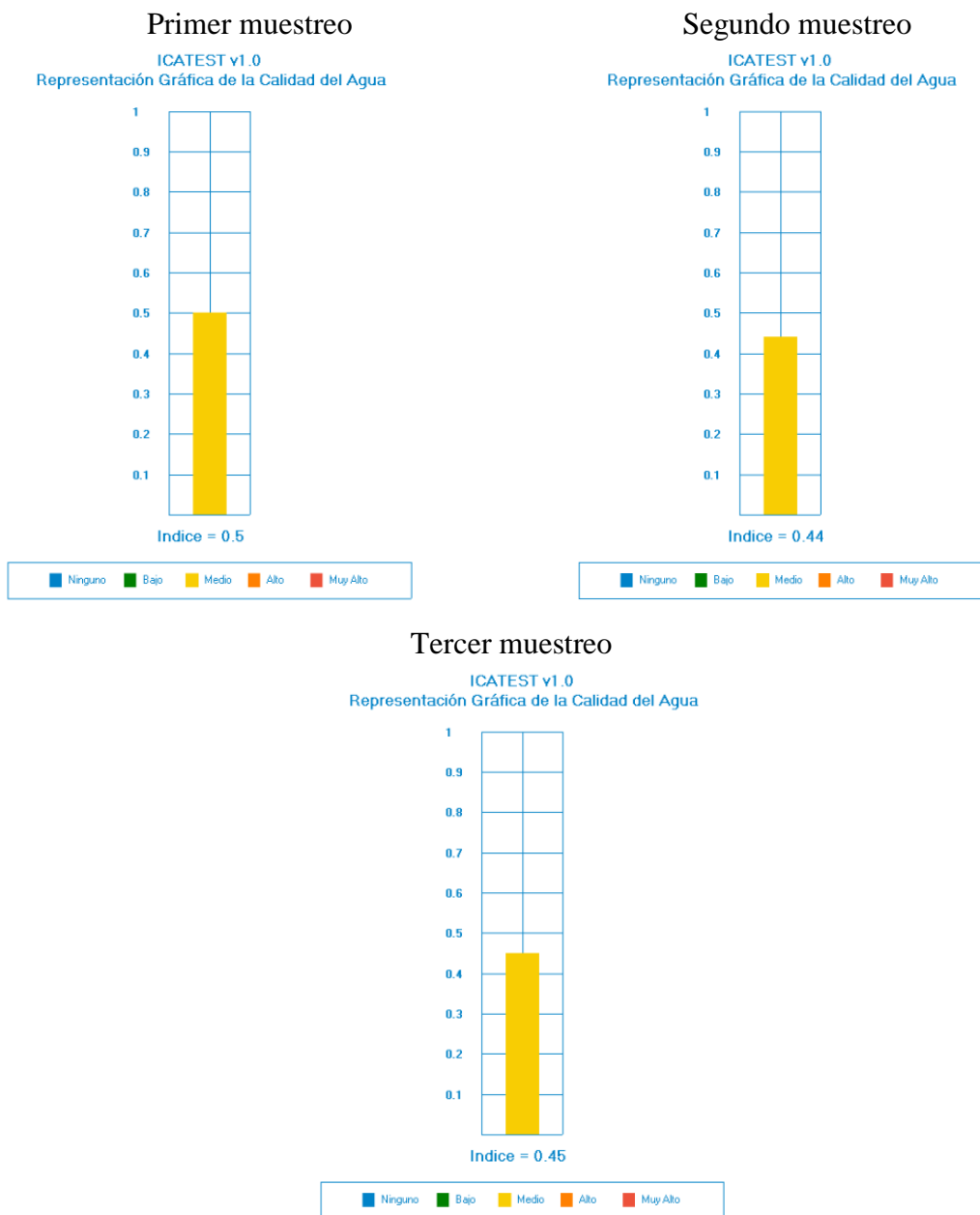


Figura 15. ICOBIO QCS01-QCS02.

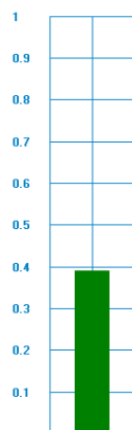
Fuente: Autores

En la Figura 16 se muestra el resultado para los puntos QCS02 y QCS03, obteniendo un índice ICOBIO bajo, debido a que las condiciones para estos dos puntos son similares y la diferencia de altura entre ambos puntos no influye, ver Anexo 2 y Anexo 3.

## CALIDAD DEL AGUA

### Primer muestreo

ICATEST v1.0  
Representación Gráfica de la Calidad del Agua

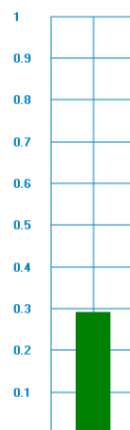


Índice = 0.39



### Segundo muestreo

ICATEST v1.0  
Representación Gráfica de la Calidad del Agua

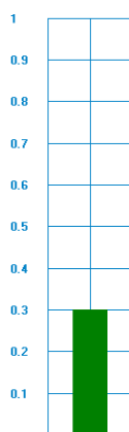


Índice = 0.29



### Tercer muestreo

ICATEST v1.0  
Representación Gráfica de la Calidad del Agua



Índice = 0.3



Figura 16. ICOBIO QCS02-QCS03

Fuente: Autores.

Para la Figura 17 (QFS02 – QFS03), se observa que para los muestreos 2 y 3 respectivamente se obtuvieron niveles de disimilaridad bajos, ya que las condiciones de las zonas muestreadas son similares, presentado igualdad en cobertura vegetal, ver Anexo 6 y Anexo 7, y la diferencia de altura no es representativa, sin embargo para el primer muestreo el resultado del índice fue medio, con un valor de 0.44, relacionándose con el resultado del

CALIDAD DEL AGUA  
 BMWP/Col en este punto y momento de muestreo, que se pudo haber visto afectado por alteraciones mínimas de carácter fisicoquímico como se observa en los resultados de los índices de contaminación, ver Tabla 10.

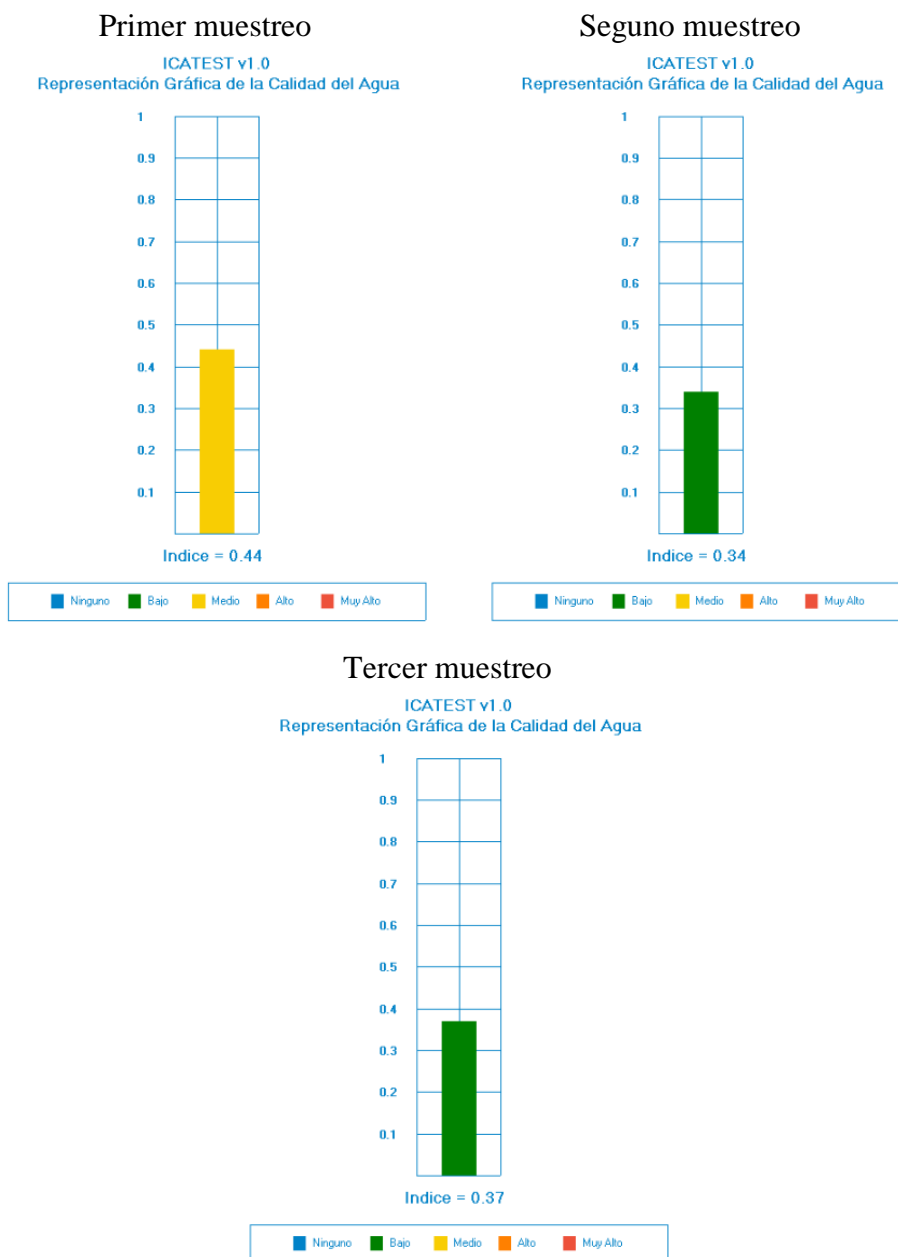
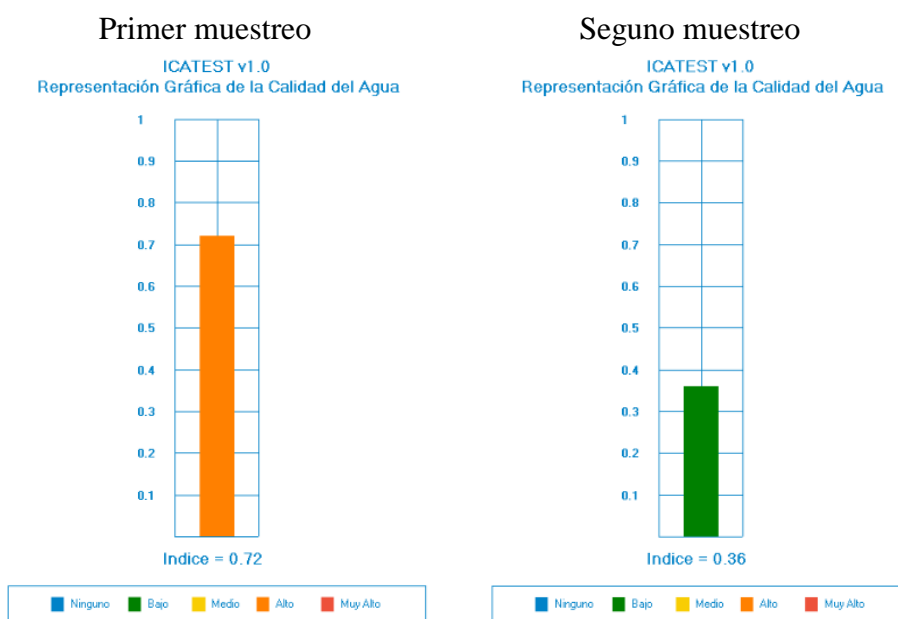


Figura 17. ICOBIO QFS02-QFS03.

Fuente: Autores.

## CALIDAD DEL AGUA

En los puntos QMS01 y QMS02, se observa según la Figura 18 valores de disimilaridad que no mantienen algún tipo de relación, pues los resultados por cada muestreo variaron, lo cual puede ser consecuencia de la diferencia paisajística, en cuanto a cobertura vegetal y presencia de rocas en el hábitat, ver Anexo 9 y Anexo 10, de igual manera es posible que las alteraciones en los resultados, se deban a la construcción que se está llevando a cabo en el punto más bajo de las inmediaciones de la quebrada (QMS02). Cabe recalcar que en el punto QMS01 se presenta la confluencia de la quebrada los Francos y la quebrada Carrizal, y el punto QMS02 se encuentra aguas abajo de la bocatoma del acueducto de “Capilla” y antes del drenaje del desarenador, lo que modifica las características que tenía el cuerpo hídrico, así mismo la diferencia de altura puede incidir en los valores obtenidos, ya que el delta es de aproximadamente 100 metros, lo que modifica las familias de macroinvertebrados acuáticos que viven en cada zona.



## CALIDAD DEL AGUA

### Tercer muestreo

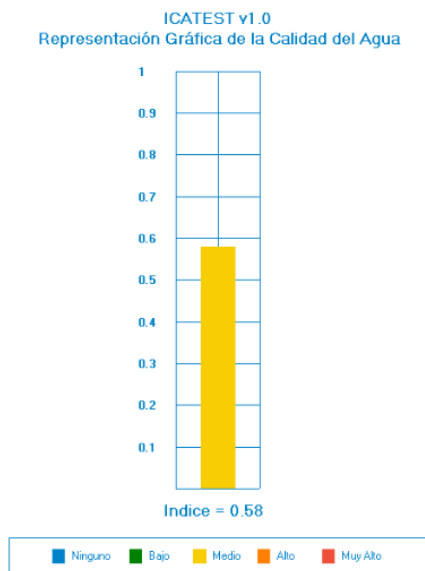


Figura 18. *ICOBIO QMS01-QMS02.*

Fuente: Autores.

## 4.2. Correlaciones índices

### 4.2.1. Resultados índices de contaminación (ICO).

La Tabla 10 presenta los índices de contaminación evaluados, cada índice fue valorado según la Tabla 4 con el nivel de contaminación respectivo al color que allí se indica, en este caso, los resultados no presentan ningún nivel de contaminación, excepto el ICOMO de QCS04, del primer muestreo, con un nivel de contaminación BAJO, posiblemente debido a la cercanía a un punto de acceso al parque, relacionado con actividades antrópicas cuyo efecto puede modificar las variables involucradas en el ICOMO.

## CALIDAD DEL AGUA

### 4.2.2. Relaciones entre índices.

En los últimos años los habitantes de la zona han manifestado su preocupación por la contaminación de la quebrada Carrizal-Mamarramos por la presencia de coliformes en el agua. Para evaluar dicho parámetro en el SFFI se recurrió al índice ICOMO, el cual arrojó que la quebrada no está contaminada por materia orgánica, obteniendo resultados con valores inferiores a 0.2, demostrando que no presenta mayores variaciones con respecto a anteriores estudios realizados en la zona (Luna, 2009). De igual manera los resultados de los índices de contaminación no registran grandes variaciones con respecto a investigaciones preliminares (Rincón, 1996) (Paéz, Pineda, & Uribe, 1996).

A lo largo del monitoreo y con la aplicación de los índices de contaminación (Gamarra, Restrepo, Ceron, Villamizar, & Arenas, 2016) (Gamarra, Restrepo, Ceron, Villamizar, & Arenas, 2016), Tabla 10, los resultados obtenidos evidencian que la calidad del agua de la quebrada Mamarramos es excelente. Con la aplicación de los índices relacionados a los macroinvertebrados acuáticos, este resultado se ratifica, ya que los bioindicadores muestran las condiciones históricas del cuerpo hídrico, ver Figura 7. Con esto se demuestra la condición que debe tener un área protegida en Colombia, manteniendo en este caso para el SFFI las condiciones ideales para la preservación, conservación y aprovechamiento de los bienes y servicios ecosistémicos.

Mediante la compilación de las familias halladas en el monitoreo, se puede observar que las más frecuentes en aparición fueron, ver Anexo 11: Leptoceridae/Nectopsychidae ver Anexo 14, Calamoceratidae ver Anexo 12, Helicopsychidae/Helicopsyche ver Anexo 13, Psephenidae/Psephenops ver Anexo 16 y Planariidae ver Anexo 15. Por lo cual, realizando la

### CALIDAD DEL AGUA

correlación de estos resultados con los relacionados índices fisicoquímicos (Gamarra et al., 2016), se puede notar que la presencia de dichas especies se ve influenciada por algunos de estos índices, presentados a continuación: conductividad y porcentaje de oxígeno disuelto.

Las familias Helicopsychidae y Planaridae, se encuentran en cuerpos hídricos con de conductividad y porcentaje de oxígeno disuelto dentro del rango aceptable como buena calidad del agua, lo cual se ve reflejado en la categoría de los índices ICOMO e ICOMI para cada muestreo, ver Tabla 10. De igual manera las familias Leptoceridae/Nectopsychidae, Calamoceratidae, y Psephenidae/Psephenops, están directamente relacionadas con aguas limpias, de corrientes lentas, por lo que las condiciones fisicoquímicas deben estar dentro de la categoría de ningún tipo de contaminación, como se evidencia en los índices aquí presentados, ver Tabla 10. Teóricamente la familia de Calamoceratidae tiene mayor representatividad en época seca, ya que estos organismos requieren grandes cantidades de sustento, como lo es la hojarasca (Hahn-vonHessberg, Ricardo Toro, Grajales-Quintero, Duque-Quintero, & Serna-Uribe, 2009).

## 5. Conclusiones

La aplicación de la curva de especies para el presente proyecto, resultó ser una herramienta importante para la validación del mismo, ya que el inventario de macroinvertebrados capturados reflejó una alta representatividad (83%), lo que permite estimar el número de especies presentes en la zona, para el apoyo de futuras investigaciones.

Con la aplicación del índice BMWP/Col se obtuvo la clasificación de aguas limpias para la quebrada Mamarramos, demostrando que el cuerpo hídrico cuenta con las condiciones adecuadas para la vida y el sustento de los macroinvertebrados acuáticos asociados a baja tolerancia de contaminación.

Según los resultados de los índices biológicos se demuestra la excelente condición del ecosistema acuático, apreciando una alta diversidad por medio de los índices de Shannon y Simpson, que se ven evidenciados a partir de la inexistencia de una familia dominante, por consecuencia la equitatividad de las comunidades y por los resultados de alta riqueza del índice Margalef.

El ICOBIO visto como índice de disimilaridad no presenta un comportamiento constante para los diferentes muestreos con respecto a los puntos QMS01 y QMS02, debido a los cambios en las condiciones hidrobiológicas de esta zona, que modificaron la presencia, ausencia y

### CALIDAD DEL AGUA

densidad de las familias de macroinvertebrados, sin embargo se considera que la intensidad de muestreo también pudo afectar los resultados del índice entre estas estaciones.

Se logró establecer una correlación positiva entre los índices biológicos y fisicoquímicos, evidenciándose en la presencia de macroinvertebrados con necesidades específicas relacionadas a la buena calidad del agua, corroborando que los resultados obtenidos en los índices fisicoquímicos se han mantenido en el tiempo, permitiendo el desarrollo y la vida de los macroinvertebrados.

La calidad del agua de la Quebrada Mamarramos en el SFFI es excelente como lo demuestra la relación de los índices fisicoquímicos, con ningún nivel de contaminación y biológicos, con buena calidad, aguas limpias, a pesar de los aportes sanitarios del centro de visitantes, la zona administrativa, el fenómeno del niño y los incendios forestales que se presentaron en la época del estudio.

## 6. Recomendaciones

Es de gran importancia dar continuidad a los monitores en las diferentes épocas climáticas del año, aunque se puedan presentar dificultades causadas por el fenómeno del niño y el cambio climático, como lo ocurrido en el presente estudio.

Para conocer el verdadero impacto causado por el centro de visitantes, se recomienda realizar una medición constante de parámetros biológicos y fisicoquímicos en las diferentes temporadas turísticas del SFFI.

De acuerdo a los datos interdisciplinarios obtenidos para el presente proyecto, se recomienda seguir con estudios afines que permitan llegar a un ajuste preciso del BMWP/Col, posibilitando su aplicación a ecosistemas cuyas características sean similares al SFFI.

En cuanto al contenido de la legislación ambiental no se ha tenido en cuenta la gran utilidad e importancia de los métodos biológicos, se recomienda relacionarlos empleando a los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad.

## 7. Bibliografía

- Álvarez, S., & Pérez, L. (2007). Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana-2012.
- Arcos, M. del P., & Gómez, A. C. (2006). Microalgas perifíticas como indicadoras del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Nova*, 4(6), 60–79.
- Barrenechea, A. (2000). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Manual I, Teoría, 1, 2–55.
- Bouchard, R. W. (2004). Guide to aquatic macroinvertebrates of the upper midwest. Water resources center. University of Minnesota.
- Clifford, H. F. (1991). Aquatic invertebrates of Alberta: an illustrated guide. University of Alberta.
- Colwell, R. (2009). EstimateS : Biodiversity Estimation. Retrieved February 11, 2016, from <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>
- Congreso de la República. (1994). Ley 165 de 1994. Convenio de las naciones unidas sobre diversidad biológica, 42. Retrieved from [https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Recursos\\_Genéticos\\_/Ley\\_165\\_de\\_1994.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Recursos_Genéticos_/Ley_165_de_1994.pdf)
- Consejo Nacional de Política Económica y Social Conpes. (2010). Documento Conpes 3680 de 2010. Lineamientos para la Consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Vol. 1).
- Corredor, L. S. V., & Forero, A. L. M. (2011). Biodeterioro de la fuente de Lavapatás, parque arqueológico de San Agustín-Huila. Colombia. *Ge-Conservación*, (2), 65–80.
- Crawley. (2007). R-Book.

## CALIDAD DEL AGUA

- Dominguez, E., & Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, .... <http://doi.org/978-950-668-015-2>
- Elosegi, A., & Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundacion BBVA. Retrieved from [https://books.google.com/books?id=OfOUggC20\\_UC&pgis=1](https://books.google.com/books?id=OfOUggC20_UC&pgis=1)
- Gil, J. A. G. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del Río Garagoa. Retrieved from [http://www.americanbanker.com/issues/179\\_124/which-city-is-the-next-big-fintech-hub-new-york-stakes-its-claim-1068345-1.html](http://www.americanbanker.com/issues/179_124/which-city-is-the-next-big-fintech-hub-new-york-stakes-its-claim-1068345-1.html)
- Hahn-vonHessberg, C. M., Ricardo Toro, D., Grajales-Quintero, A., Duque-Quintero, G. M., & Serna-Uribe, L. (2009). Determinación de la Calidad del Agua mediante Indicadores Biológicos Y Fisicoquímicos, En La Estación Piscícola, Universidad De Caldas, Municipio De Palestina, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2), 89–105. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30682009000200007&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30682009000200007&script=sci_arttext&tlng=es)
- Hawkes, H. A. (1979). Invertebrates as indicators of river water quality. *Biological Indicators of Water Quality*, 2, 1–45.
- Hernández, L., Roa, O., & Cortés, F. (2014). Crecimiento de *Baccharis macrantha* y *Viburnum triphyllum* , dos especies nativas útiles en restauración ecológica , plantadas en un pastizal andino ( Boyacá , Colombia ) Growth of *Baccharis macrantha* and *Viburnum triphyllum* , two native species useful. *Biota Colombiana*, 15, 27–38.
- Hummer Oyvind, Harper David, R. P. (2001). *Past: Paleontological Statistics Software Package For Education And Data Analysis*.

## CALIDAD DEL AGUA

- Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente Colombia. (1990). A guide to the national natural parks system of Colombia. Inderena. Retrieved from [https://books.google.com.co/books/about/A\\_guide\\_to\\_the\\_national\\_natural\\_parks\\_sy.html?id=5U4tmgEACAAJ&pgis=1](https://books.google.com.co/books/about/A_guide_to_the_national_natural_parks_sy.html?id=5U4tmgEACAAJ&pgis=1)
- Luna, H. A. (2009). Estudio preliminar del uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la Quebrada Mamarramos y en un sector del Río Cane en el Santuario de Fauna y Flora Iguaque.
- Magurran, A. E. (2004). Measuring Biological Diversity.pdf.
- Martella, M. B., Trumper, E. V., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de Ecología. Evaluación de la biodiversidad. REDUCA (Biología), 5(1), 71 – 115. Retrieved from <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/917>
- Medellin, F., Ramírez, M., & Rincón, M. E. (2004). Trichoptera del Santuario de Iguaque (Boyacá, Colombia) y su relacion con la calidad del agua. Revista Colombiana de Entomología.
- Metcalf, E. &, & de Dios Trillo Montsoriu, J. (1985). Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Labor, Editorial S. A. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=tYP9PQAACAAJ>
- Ministerio del medio ambiente. (2015). Parques Nacionales Naturales de Colombia - Somos la gente de la conservación. Retrieved January 15, 2016, from <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/php/decide.php?patron=01.20121>
- 1
- Montgomery, D. C. (2003). Applied Statistics and Probability for Engineers Third Edition. Phoenix

## CALIDAD DEL AGUA

Usa (Vol. 37). <http://doi.org/10.2307/1269738>

- Moreno-Arias, R., & Quintero-Corzo, S. (2015). Reptiles del valle seco del río Magdalena (Huila, Colombia). *Caldasia*, 37(1), 183. <http://doi.org/10.15446/caldasia/v37n1.50811>
- Natalia Eugenia, Ruiz Samboni, Yesid, C. E., & Juan Carlos, E. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista de Ingeniería E Investigación*, 27(3), 172–181.
- Paéz, T., Pineda, N., & Uribe, L. (1996). Aspectos ecologicos de los macroinvertebrados acuaticos y su relacion con la calidad del agua en la quebrada Carrizal, Santuario de Fauna y Flora de Iguaque (Boyaca).
- Paukert, C. P., & Willis, D. W. (2003). Aquatic invertebrate assemblages in shallow prairie lakes: fish and environmental influences. *Journal of Freshwater Ecology*, 18(4), 523–536.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *CT&F-Ciencia, Tecnología Y Futuro*, 1(3), 135–153.
- Rincón, M. E. (1996). Aspectos bioecologicos de los tricopteros de la Quebrada Carrizal (Boyaca, Colombia). *Revista Colombiana de Entomologia*, 22(2), 53–60.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el Estudio de Macroinvertebrados Acuáticos*. Bogotá: Dep. de Antioquia, Forndo Para La Protección Del Medio Ambiente.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col. Universidad de Antioquia. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=ZEjgIKZTF2UC&pgis=1>

## CALIDAD DEL AGUA

- Roldán, G. P., & Ramírez, J. J. R. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=FA5Jr7pXF1UC>
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates* (pp. 1–9). <http://doi.org/10.1002/aqc.3270040110>
- Salcedo, S. G., & Trama, F. A. (2014). *Manual de identificación de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca San Alberto, Provincia de Oxapampa, Perú (Rizo Patró)*.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería E Investigación*, 27(3), 172–181.
- Sistema de Parques Nacionales Naturales. (2006a). *Plan de manejo del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque*.
- Sistema de Parques Nacionales Naturales. (2006b). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río cane iguaque (Vol. 644)*.
- Sistema de Parques Nacionales Naturales. (2015). *Santuario de Flora y Fauna Iguaque | Parques Nacionales Naturales de Colombia*. Retrieved July 13, 2015, from <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/region-andina/santuario-de-flora-y-fauna-iguaque/>
- Soler, M. X., & Mora, A. Y. (1993). *Estudio limnológico con énfasis en los macroinvertebrados bénticos de la parte alta del río Bogotá (Quebrada del valle, planta de tratamiento de Tibito)*. Tesis (Biólogo). Facultad de Ciencias. Departamento de Biología, Universidad Nacional de

CALIDAD DEL AGUA  
Colombia, Bogotá.

Springer, M., Ramírez, A., & Hanson, P. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce I. Revista de Biología Tropical (Vol. 58).

Torres, D. P. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de la Microcuenca Sancotea Socorro - Santander. Investigacion Y Ciencia.

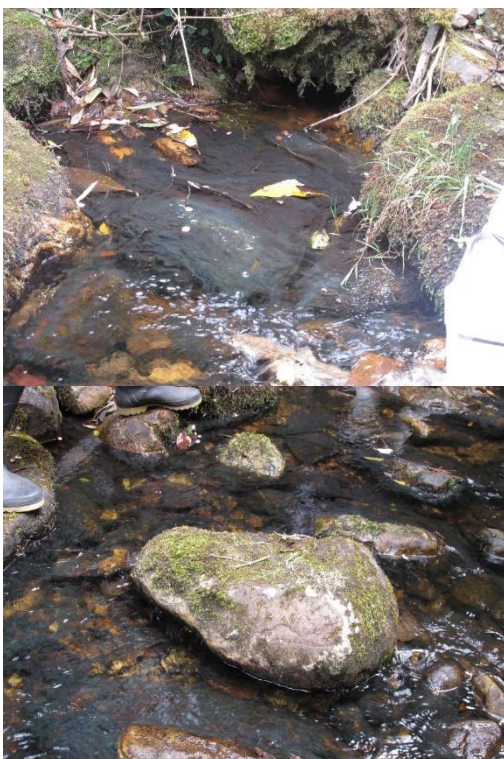
Universidad de Pamplona. (2013). ICATEST V 1.0® Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua (Vol. 1). Retrieved from <http://eprints.utas.edu.au/4774/>

Vásquez, G. S., Castro, G. M., Gonzáles, I. M., Pérez, R. R., & Castro, T. B. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. ContactoS, 60, 41–48. Retrieved from <http://www.izt.uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>

Water and Rivers Commission. (2001). Water facts.

## CALIDAD DEL AGUA

## 8. Anexos

*Anexo 1. Quebrada Carrizal (QCS01)**Anexo 2. Quebrada Carrizal (QCS02).*

CALIDAD DEL AGUA  
*Anexo 3. Quebrada Carrizal (QCS03).*



*Anexo 4. Quebrada Carrizal (QCS04).*



CALIDAD DEL AGUA

Anexo 5. Quebrada Los Francos (QFS01).

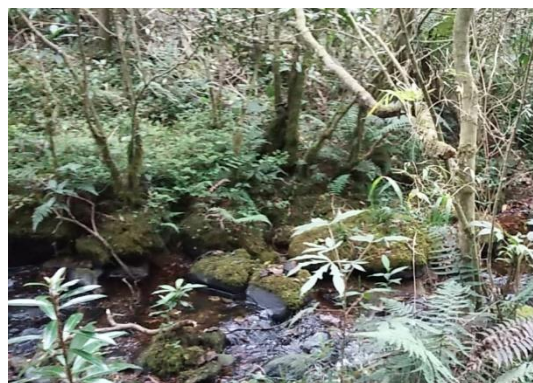
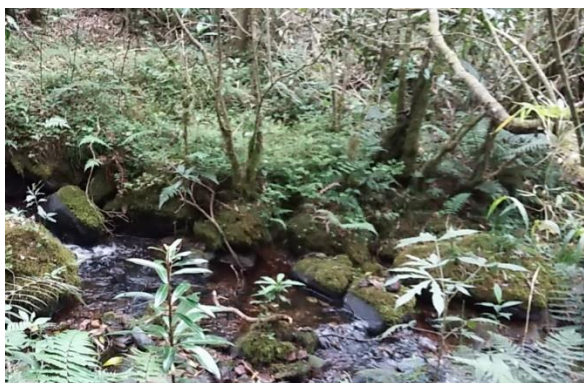


Anexo 6. Quebrada Los Francos (QFS02).



## CALIDAD DEL AGUA

*Anexo 7. Quebrada Los Francos (QFS03).*



*Anexo 8. Quebrada Los Francos (QFS04).*



# CALIDAD DEL AGUA

Anexo 9. Quebrada Mamarramos (QMS01).



Anexo 10. Quebrada Mamarramos (QMS02)



## CALIDAD DEL AGUA

*Anexo 11. Macroinvertebrados presentes en el SFFI.*

Familia	QCS01	QCS02	QCS03	QCS04	QFS01	QFS02	QFS03	QFS04	QMS01	QMS02	TOTAL DE INDIVIDUOS	FRECUENCIA
<b>Baetidae</b>	51	22	1	7	79	8	2	3	7	48	228	3.02%
<b>Bivalvia/Sphaeridae</b>	1	7	1	0	0	0	0	0	1	0	10	0.13%
<b>Blataridae</b>	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	4	0.05%
<b>Blephariceridae</b>	1	0	0	0	2	0	0	1	0	1	5	0.07%
<b>Calamoceratidae</b>	66	71	66	82	68	76	108	89	101	150	877	11.61%
<b>Ceratopogonidae</b>	2	11	3	2	4	4	2	4	3	3	38	0.50%
<b>Chironomidae Sp1</b>	3	14	5	9	1	4	4	2	10	9	61	0.81%
<b>Chironomidae sp2</b>	17	13	8	20	14	27	24	6	29	13	171	2.26%
<b>Chironomidae sp3</b>	0	1	1	2	2	1	2	2	0	4	15	0.20%
<b>Chordodidae</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.01%
<b>Chrysomelidae</b>	1	0	0	0	1	6	2	2	1	1	14	0.19%
<b>Curculionidae</b>	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0.03%
<b>Dixidae</b>	0	2	2	6	0	1	10	7	6	18	52	0.69%
<b>Dolichopodidae</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.01%
<b>Dytiscidae</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	4	0.05%
<b>Elmidae</b>	3	2	7	3	1	5	2	4	4	10	41	0.54%
<b>Empididae</b>	0	0	0	0	1	1	0	1	2	1	6	0.08%
<b>Entomobrydae(Collembola)</b>	0	1	0	0	3	0	0	0	1	0	5	0.07%
<b>Ephydriidae</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.01%
<b>Giniridae</b>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.03%
<b>Glossossomatidae</b>	6	4	1	12	31	17	4	3	4	1	83	1.10%
<b>Glossossomatidae/ Mortinela</b>	21	21	17	10	8	17	32	16	12	9	163	2.16%
<b>Glossossomatidae/ Protoptila</b>	109	8	0	0	0	0	0	0	0	3	120	1.59%
<b>Glossossomatidae/Culoptila</b>	36	9	4	0	1	0	2	0	4	8	64	0.85%
<b>Helicopsychidae/Helicopsyche</b>	6	69	79	40	18	58	73	44	270	89	746	9.87%

## CALIDAD DEL AGUA

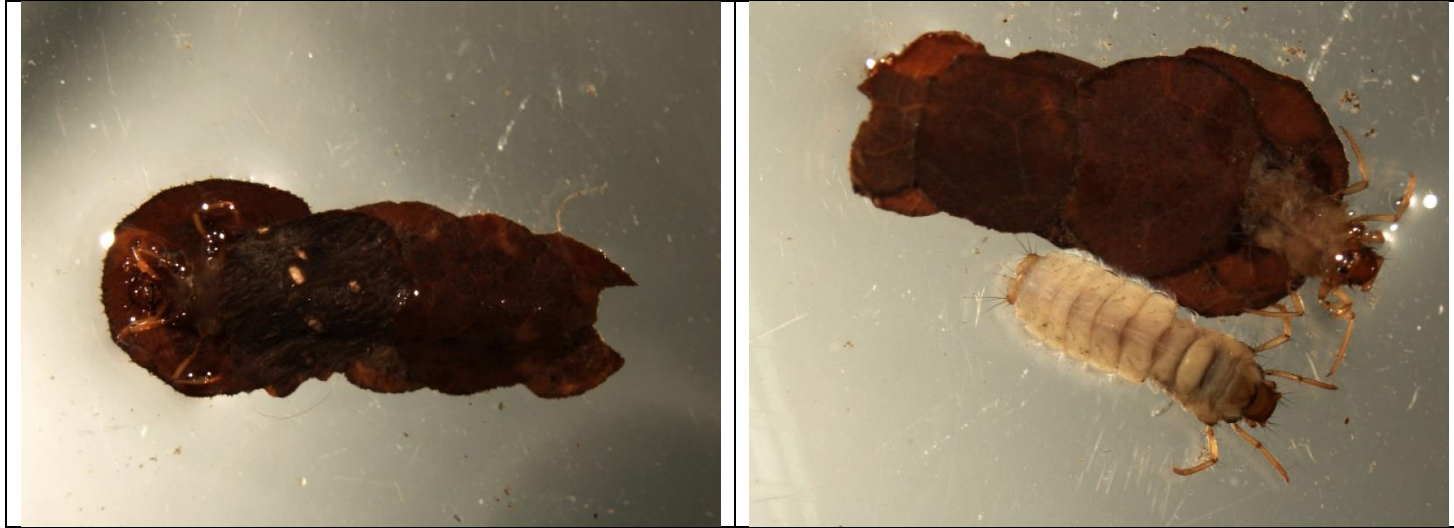
<b>Hyaellidae</b>	24	25	7	0	28	8	8	1	22	0	123	1.63%
<b>Hydrachridiae</b>	0	0	0	0	0	1	0	1	3	0	5	0.07%
<b>Hydracnidae</b>	0	0	0	2	1	4	1	2	5	6	21	0.28%
<b>Hydrobiosidae/Atopsyche</b>	15	8	15	12	25	13	20	16	19	6	149	1.97%
<b>Hydrophilidae</b>	1	0	0	0	0	2	3	3	0	1	10	0.13%
<b>Hydropsychidae</b>	22	10	12	5	5	12	8	22	12	24	132	1.75%
<b>Hydroptilidae</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0.03%
<b>Isopodo</b>	1	3	1	0	85	11	28	12	9	1	151	2.00%
<b>Isotomidae (Collembola)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.01%
<b>Lampiridae</b>	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	5	0.07%
<b>Leptoceridae</b>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.03%
<b>Leptoceridae/Atanatolica</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01%
<b>Leptoceridae/Grumichella</b>	1	42	30	22	0	0	10	7	39	79	230	3.04%
<b>Leptoceridae/Nectopsyche</b>	65	135	234	85	50	79	91	43	117	209	1108	14.66%
<b>Leptoceridae/Triplectides</b>	8	12	10	15	14	7	13	12	1	17	109	1.44%
<b>Leptohyphidae/Leptphyphes</b>	2	1	7	6	1	5	1	7	34	15	79	1.05%
<b>Leptohyphidae/Vacupernius</b>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.03%
<b>Leptophlebidae/Farrodes</b>	10	22	7	5	13	9	8	2	9	34	119	1.57%
<b>Libellulidae</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.01%
<b>Muscidae</b>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.03%
<b>Perlidae/Anacroneuria</b>	6	5	6	7	8	17	7	21	9	75	161	2.13%
<b>Philopotamidae</b>	0	0	0	2	0	2	0	0	1	2	7	0.09%
<b>Pilidae</b>	0	1	0	0	5	0	46	0	0	0	52	0.69%
<b>Pisauridae</b>	4	4	3	0	15	7	10	1	2	11	57	0.75%
<b>Planariidae</b>	48	56	38	28	44	66	86	26	141	46	579	7.66%
<b>Polidesmidie</b>	2	0	0	0	3	0	1	1	0	0	7	0.09%
<b>Polycentropodidae/Cyrellus</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01%
<b>Polycentropodidae/Polycentropus</b>	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1	6	0.08%
<b>Policentropodidae</b>	0	0	1	3	0	0	4	0	1	0	9	0.12%

## CALIDAD DEL AGUA

<b>Psephenidae/Psephenops</b>	68	94	95	88	67	90	148	54	11	107	822	10.88%
<b>Pseudothelphusidae</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.01%
<b>Psychodidae</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01%
<b>Ptilodactilidae</b>	6	18	15	11	20	31	33	13	19	11	177	2.34%
<b>Puduridae</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0.01%
<b>Pyralidae</b>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0.04%
<b>Scirtidae</b>	55	18	17	12	40	29	47	27	46	17	308	4.08%
<b>Simuliidae/Simulium</b>	21	74	17	8	11	31	10	49	17	45	283	3.74%
<b>Synlestidae</b>	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	4	0.05%
<b>Sphariidae</b>	0	0	3	1	1	2	0	2	0	0	9	0.12%
<b>Staphilinidae</b>	1	3	5	1	4	6	8	4	11	6	49	0.65%
<b>Tabanidae</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3	0.04%
<b>Tipulidae</b>	7	3	0	0	10	1	1	1	1	0	24	0.32%
<b>Tipulidae/Hexatoma</b>	0	1	0	2	2	4	3	2	3	1	18	0.24%
<b>Torridincolidae</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01%
<b>Tubificidae</b>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	3	0.04%
<b>Xiphocentronidae</b>	0	1	3	0	0	0	0	0	0	1	5	0.07%
<b>TOTAL</b>	700	793	723	509	692	664	869	520	994	1093	7557	<b>100.00%</b>

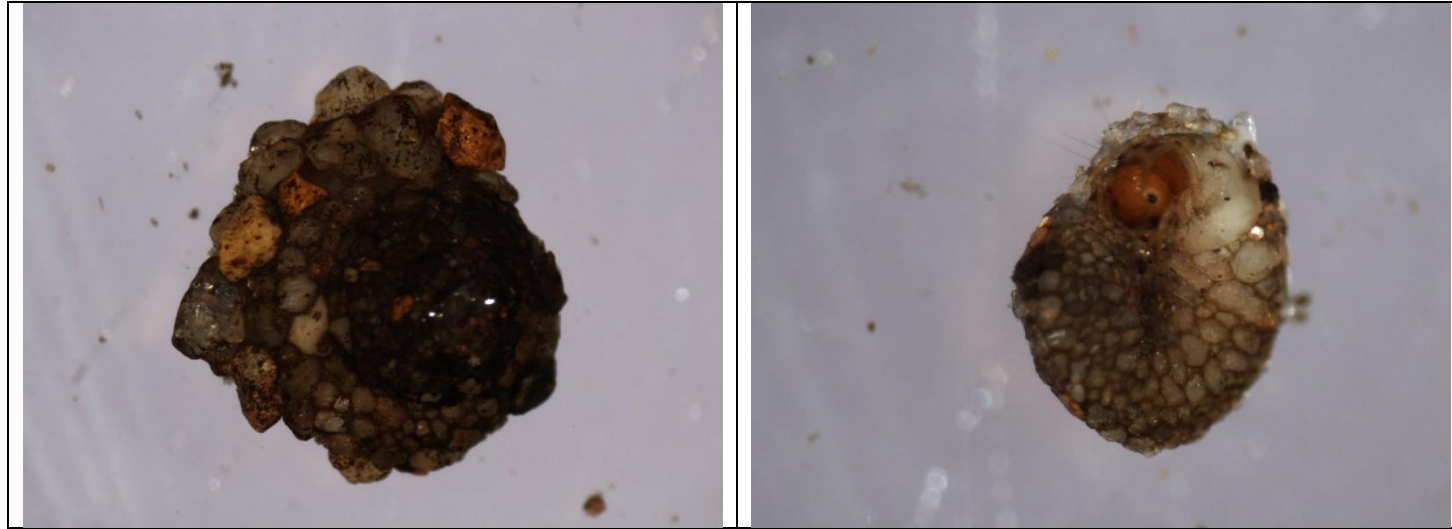
CALIDAD DEL AGUA

Anexo 12. Familia Calamoceratidae.



## CALIDAD DEL AGUA

*Anexo 13. Familia Helicopsychidae.*



## CALIDAD DEL AGUA

*Anexo 14. Familia Leptoceridae.*



CALIDAD DEL AGUA



*Anexo 15. Familia Planariidae.*



## CALIDAD DEL AGUA

*Anexo 16. Familia Psephenidae.**Anexo 17. Índices biológicos primer muestreo.*

	QCS0101	QCS0201	QCS0301	QCS0401	QFS0101	QFS0201	QFS0301	QFS0401	QMS0101	QMS0201
<b>Dominance</b>	0.1379	0.08874	0.1304	0.178	0.07698	0.0995	0.13	0.09496	0.127	0.1021
<b>Simpson</b>	0.8621	0.9113	0.8696	0.822	0.923	0.9005	0.87	0.905	0.873	0.8979
<b>Shannon</b>	2.372	2.744	2.404	2.3	2.775	2.517	2.408	2.549	2.543	2.521
<b>Margalef</b>	3.444	4.659	4.122	4.427	4.442	3.645	4.126	3.683	4.96	3.986
<b>Equitability</b>	0.7917	0.8422	0.7666	0.7336	0.8977	0.8709	0.8039	0.8997	0.7553	0.828

CALIDAD DEL AGUA

Anexo 18. Índices biológicos segundo muestreo.

	QCS0101	QCS0201	QCS0301	QCS0401	QFS0101	QFS0201	QFS0301	QFS0401	QMS0101	QMS0201
<b>Dominance</b>	0.1244	0.113	0.1632	0.1345	0.08885	0.133	0.1067	0.1036	0.1918	0.1353
<b>Simpson</b>	0.8756	0.887	0.8368	0.8655	0.9112	0.867	0.8933	0.8964	0.8082	0.8647
<b>Shannon</b>	2.369	2.496	2.244	2.277	2.751	2.288	2.596	2.673	2.135	2.398
<b>Margalef</b>	3.999	3.641	3.904	3.284	4.684	3.362	4.428	5.211	4.088	3.323
<b>Equitability</b>	0.7556	0.8076	0.7158	0.7879	0.8445	0.7915	0.7967	0.8022	0.6554	0.7875

Anexo 19. Índices biológicos tercer muestreo.

	QCS0101	QCS0201	QCS0301	QCS0401	QFS0101	QFS0201	QFS0301	QFS0401	QMS0101	QMS0201
<b>Dominance</b>	0.1501	0.1438	0.2749	0.1937	0.1086	0.09692	0.09203	0.1085	0.1222	0.1569
<b>Simpson</b>	0.8499	0.8562	0.7251	0.8063	0.8914	0.9031	0.908	0.8915	0.8778	0.8431
<b>Shannon</b>	2.368	2.327	1.95	2.112	2.579	2.604	2.623	2.571	2.439	2.403
<b>Margalef</b>	4.113	3.556	3.597	3.79	4.762	4.052	4.044	4.353	3.97	5.259
<b>Equitability</b>	0.7357	0.7529	0.6308	0.6833	0.7826	0.8194	0.8149	0.809	0.7777	0.6814

## CALIDAD DEL AGUA

Anexo 20. Reporte de número de taxas por muestreo.

