



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DEL AGUA USANDO  
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES EN LA PARTE  
ALTA, MEDIA Y BAJA DE LA QUEBRADA EL TABOR EN EL MUNICIPIO DE SAN  
CARLOS – ANTIOQUIA.**

**YENNYFER CASTAÑO  
LAURA QUINTANA CRUZ**

**DIRECTOR  
SERGIO AUGUSTO UPEGÜI SOSA**

**TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA- INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERIA AMBIENTAL  
MEDELLIN  
2016**

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

## **DEDICATORIA**

A nuestra familia por sus consejos, sus valores, su amor, por habernos apoyado en todo momento, y a los que estuvieron con nosotros a pesar de la distancia, pero más que nada, por la motivación y acompañamiento constante en esta formación.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios principalmente, por habernos dado la vida y permitirnos el haber culminado tan importante meta en nuestras vidas como lo es nuestra formación profesional, por ayudarnos y guiarnos en los pasos y decisiones que tomamos en la vida.

A nuestros padres y familiares por ser nuestros pilares, nuestro apoyo moral y financiero en esta formación.

A mi esposo ROBINSON CARDONA OCAMPO.

A nuestras amigas NATALIA MONTOYA Y KELLY PIZANO por estar siempre apoyándonos y acompañándonos en todo momento, Las queremos mucho.

A nuestro asesor SERGIO AUGUSTO UPEGÜI SOSA, Ingeniero Ambiental, por su acompañamiento, motivación y colaboración para el desarrollo de este trabajo.

A nuestro Docente JORGE LÓPEZ ARANGO, Ingeniero Ambiental por su apoyo y colaboración en el trabajo de investigación.

Finalmente a la Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia, por su apoyo con los recursos para la elaboración de este proyecto, sus docentes que nos ayudaron en asesorías y dudas presentadas y marcaron cada etapa de este logro tan importante.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>11</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1 Objetivo general</b> .....	<b>15</b>
<b>4.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>5 MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>16</b>
<b>5.1 Caracterización fisicoquímica</b> .....	<b>17</b>
<b>5.1.1 Temperatura</b> .....	<b>17</b>
<b>5.1.2 Color</b> .....	<b>18</b>
<b>5.1.3 Turbiedad</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1.4 Oxígeno disuelto</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1.5 Conductividad eléctrica y solidos totales disueltos</b> .....	<b>22</b>
<b>5.1.6 pH</b> .....	<b>23</b>
<b>5.2 Caracterización Biológica</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2.1 Descripción de los principales órdenes de Macroinvertebrados utilizados en los índices biológicos.</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2.2 Descripción de los índices biológicos de calidad del agua.</b> .....	<b>28</b>
<b>6 DESARROLLO METODOLÓGICO</b> .....	<b>31</b>
<b>6.1 Área de estudio</b> .....	<b>31</b>
<b>6.2 Identificación de los puntos de muestreo</b> .....	<b>32</b>
<b>6.3 Medición de los Parámetros Fisicoquímicos</b> .....	<b>35</b>
<b>6.4 Recolección de los Macroinvertebrados</b> .....	<b>35</b>
<b>6.5 Identificación y Clasificación de los Macroinvertebrados</b> .....	<b>37</b>
<b>6.6 Cálculo del Índice EPT</b> .....	<b>38</b>
<b>6.7 Cálculo del índice BMWP/Col</b> .....	<b>39</b>

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

6.8 Cálculo del análisis de sensibilidad .....	40
<b>7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
7.1 Resultados obtenidos en la caracterización de la zona alta .....	42
7.1.1 Los índices biológicos de la Zona Alta .....	44
7.2 Resultados obtenidos en la caracterización de la zona media .....	49
7.2.1 Índices biológicos de la Zona Media .....	52
7.3 Resultados obtenidos en la caracterización de la Zona Baja.....	55
7.3.1 Índices Biológicos de la Zona Baja .....	57
7.4 Comparación entre los índices y las zonas de muestreo .....	60
7.5 Datos Fisicoquímicos tomados en campo.....	62
<b>8 CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>9 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>67</b>
<b>10 RECONOCIMIENTOS.....</b>	<b>68</b>
<b>11 REFERENCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>12 ANEXOS.....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Equipo de muestreo .....	35
Tabla 2 Calidad del agua a partir de índice EPT .....	38
Tabla 3 Puntaje del BMWP según las familias de Macroinvertebrados .....	39
Tabla 4 Calidad del agua a partir del índice BMWP .....	40
Tabla 5 Calidad del agua para el análisis de sensibilidad .....	40
Tabla 6 Macroinvertebrados recolectados en la Zona Alta .....	43
Tabla 7 Índice BMWP/Col para la zona alta .....	44
Tabla 8 índice EPT para la zona alta .....	46
Tabla 9 Índice de sensibilidad para la zona alta .....	48
Tabla 10 Macroinvertebrados recolectados en la zona Media .....	50
Tabla 11 Índice BMWP para la zona media .....	52
Tabla 12 Índice EPT para la zona media .....	53
Tabla 13 Índice de sensibilidad para la Zona Media .....	54
Tabla 14 Macroinvertebrados recolectados en la Zona Baja .....	56
Tabla 15 Índice BMWP/Col para la Zona Baja .....	57
Tabla 16 Índice EPT para la Zona Baja .....	58
Tabla 17 Índice de Sensibilidad para la Zona Baja .....	59
Tabla 18 comparación entre los índices y las zonas .....	62
Tabla 19 Parámetros fisicoquímicos tomados en campo .....	62
Tabla 20 Caudal promedio de las tres zonas de muestreo. ....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Categoría del agua según el puntaje BMWP .....	29
Figura 2 Categoría del agua según el puntaje ETP.....	29
Figura 3 Calidad del agua según el puntaje de sensibilidad .....	30
Figura 4 Delimitación de la cuenca El Tabor Municipio de San Carlos Antioquia .	31
Figura 5 Punto de muestro Parte Alta Quebrada El Tabor. Fuente: Google Earth.	32
Figura 6 Punto de muestro Parte Media Quebrada El Tabor. Fuente: Google Earth. .....	33
Figura 7 Punto de muestro Parte Baja Quebrada El Tabor. Google Earth.....	34
Figura 8 Ubicación geográfica de los tres puntos de muestreo seleccionados, Quebrada El Tabor. Google Earth.....	34
Figura 9 Red pantalla .....	36
Figura 10 Red de mano triangular.....	36
Figura 11 Recolección de macroinvertebrados .....	37
Figura 12 Recolección de hojarasca .....	37
Figura 13 Identificación en el estero microscopio.....	38
Figura 14 Muestras de macroinvertebrados.....	38
Figura 15 Familias y puntaje de tolerancia BMWP/Col para la Zona Alta .....	46
Figura 16 Géneros y número de individuos para el puntaje EPT Zona Alta .....	47
Figura 17 Género y número de sensibilidad para la Zona Alta .....	48
Figura 18 Familias y puntajes para el índice BMWP/Col Zona.....	53
Figura 19 Género y número de individuos para el puntaje EPT Zona.....	54
Figura 20 Género y número de sensibilidad para la Zona Media.....	55
Figura 21 Familia y Puntaje BMWP para la Zona Baja .....	58
Figura 22 Género y número de individuos para el Índice EPT Zona Baja .....	59
Figura 23 Familias y puntaje de sensibilidad Zona Baja .....	60
Figura 24 Resultado del caudal de las zonas alta, media y baja de la Quebrada El Tabor.....	65

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria  
**RESUMEN**

La cuenca El Tabor la cual se halla ubicada principalmente en las veredas El Tabor y Vallejuelos a unos minutos del centro urbano del municipio de San Carlos, surte el sistema de acueducto principal municipal.

Esta quebrada recibe algunas afectaciones de las viviendas ubicadas aledañosamente a esta, lo cual desde un punto de vista ambiental y por sus actividades tales como el turismo, genera un impacto negativo en sus riveras.

Ante esta problemática presentada, se hace necesario realizar un estudio para evaluar la calidad del agua que está quebrada exhibe, para esto se tomaron lecturas de los parámetros fisicoquímicos in situ utilizando equipos especiales facilitados por el Tecnológico de Antioquia, posteriormente a esto, se utilizó como método de trabajo la recolección de macroinvertebrados utilizando la red de pantalla para la captura de los individuos del fondo y la superficie y la red de mano triangular para los individuos de la orilla de la fuente hídrica, posteriormente se realizó la identificación de macroinvertebrados según las guías de Gabriel Roldán, y ya con esta identificación se procedió a la implementación de los índices biológicos como son el EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), Biological monitoring working party score system (BMWP/Col) y el Análisis de sensibilidad.

Con el análisis y la implementación de los tres índices mencionados anteriormente, la quebrada presenta la siguiente calidad del agua para cada punto de muestreo; parte Alta 132 Buena, parte Media 120 Buena, parte Baja 86 Aceptable.

## **PALABRAS CLAVE**

Bioindicadores, Macroinvertebrados acuáticos, Calidad del agua, Índices Biológicos de calidad del agua.

## 1. INTRODUCCIÓN

La importancia de los ecosistemas acuáticos es definida en función de su rol ecológico fundamental como regulador de procesos hídricos, ya que ellos constituyen hábitats de especies animales y vegetales, y porque desde un punto de vista socioeconómico prestan importantes servicios a las sociedades humanas. A pesar de su aparente abundancia, el agua dulce es uno de los recursos naturales más limitados y críticos para una humanidad en constante crecimiento (Deimar & Francisco, 2014).

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. La baja calidad del agua afecta directamente la cantidad de agua de diversas maneras; el agua contaminada que no puede utilizarse para consumo, para baño, para la industria o la agricultura reduce de forma efectiva la cantidad de agua disponible en una determinada zona (ONU, Calidad del agua , 2014).

El control de la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos se realiza mediante el uso conjunto de diferentes tipos de análisis fisicoquímicos e índices biológicos. Los análisis fisicoquímicos identifican y cuantifican los contaminantes, pero sólo proporcionan valores de calidad instantánea del agua y no valoran la alteración del hábitat físico (Arango, 2005). Los índices biológicos se utilizan complementariamente a los análisis fisicoquímicos, sus ventajas son que no se limitan al momento de toma de la muestra; permiten descubrir cambios producidos a lo largo del tiempo, ya que los organismos vivos presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales y tienen unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Los métodos biológicos, nunca excluyentes de la calidad fisicoquímica, son relativamente sencillos, rápidos y de bajo costo, lo que los hace idóneos para el monitoreo, vigilancia y control de las cuencas hidrográficas (Arango, 2005).

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Este trabajo se desarrolló con el fin de determinar la calidad del agua de la quebrada “El Tabor” mediante variables físico químicas, y las comunidades de macroinvertebrados como bioindicadores en la parte alta, media y baja.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en los ecosistemas en donde se utilizan. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales. La calidad del agua se ha convertido en un asunto mundial. Cada día, se vierten millones de toneladas de aguas residuales tratadas de forma inadecuada y desechos industriales y agrícolas a las aguas de todo el mundo. “Cada año, lagos, ríos y deltas reciben una cantidad de contaminación equivalente al peso de toda la población mundial (de cerca de 7.000 millones de personas)” (ONU, 2016).

La contaminación del agua debilita o destruye los ecosistemas naturales que sustentan la salud humana, la producción de alimentos y la biodiversidad; es un asunto de gran relevancia actual y por lo tanto debe ser objeto de observación y manejo inmediato, contando con monitoreos y evaluaciones periódicas en cuanto a la calidad del agua, de lo contrario las consecuencias podrían llegar a ser irreparables dada la magnitud de los daños ambientales que trae consigo.

Según el plan de ordenamiento y manejo integral de la cuenca El Tabor (Cornare, 2006), el proceso de mayor impacto ambiental que se desarrolla en la cuenca es el turismo, dado su potencial paisajístico, este proceso tiene alta influencia en la cuenca ya que genera impactos ambientales y sociales relevantes, en especial en lo concerniente al aprovechamiento del recurso hídrico, a los cambios de consumo de los pobladores, a conflictos con el uso del suelo y a la alta generación de residuos sólidos.

El carácter de cuenca abastecedora hace que la utilización del recurso agua sea un proceso de desarrollo de considerable importancia, no sólo porque la población cercana de la cuenca El Tabor y la comunidad de la cabecera municipal se beneficia del recurso sino también por la falta de información acerca del estado de la calidad del agua de la cuenca que permita tomar mejores decisiones sobre la gestión y utilización de este recurso hídrico.

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Los métodos biológicos han adquirido una creciente importancia del análisis de la calidad del agua con respecto a los análisis fisicoquímicos debido a que no solo revelan las condiciones ambientales actuales, sino que actúan como reveladores de las condiciones en el tiempo; mientras que los métodos fisicoquímicos solo proporcionan valores de calidad instantánea del agua y no valoran la alteración del hábitat físico.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Según el decreto 3930 de 2010 expedido por el Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial (Actualmente nombrado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), menciona que el Ordenamiento del Recurso Hídrico por parte de la autoridad ambiental competente se realizará mediante el Diagnóstico donde se caracteriza la situación ambiental actual del cuerpo de agua por medio de revisión, organización, clasificación y utilización de programas de monitoreo de la calidad del agua, involucrando variables físicas, químicas y biológicas que influyen en la calidad y cantidad del recurso” (Uribe & Santos, 2010).

En estos últimos años, las comunidades de macroinvertebrados utilizados como bioindicadores acuáticos han venido creciendo en lo que respecta a la protección y restauración de los ambientes acuáticos para la identificación de la calidad del agua (Paredes, Iannacone, & Alvaríño). Debido a que presentan ventajas respecto a otros componentes de la biota acuática como presencia en prácticamente todos los sistemas acuáticos continentales, lo cual facilita realizar estudios comparativos; su naturaleza sedentaria, que permite un análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el ambiente; los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras, que pueden ser ejecutados con equipos simples y de bajo costo, y la disponibilidad de métodos e índices para el análisis de datos, que han sido validados en diferentes ríos del mundo (Figuroa, Valdovinos, Araya, & Parra, 2013).

Según el Plan de Desarrollo del Municipio de San Carlos, el municipio cuenta con la certificación de calidad de agua, remitida por la Secretaria Seccional de Salud y Protección Social de Antioquia para el año 2011, la cual considera el agua para consumo urbano como: Calidad del agua “sin riesgo” (Alcaldía Municipal, San Carlos, Antioquia, 2015). Por medio de la evaluación de Bioindicadores de la calidad del agua es posible hacer un seguimiento adecuado y de bajo costo, que permite generar información de calidad de agua para conocer el estado de la fuente, y de esta manera apoyar en la planeación de alternativas y ejecución de acciones

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria enfocadas a la protección, conservación y cuidado del recurso, de esta manera garantizar el buen abastecimiento.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Realizar un análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia

### **4.2 Objetivos específicos**

- Identificar los sitios de muestreo a lo largo de la quebrada El Tabor.
- Medir algunos parámetros fisicoquímicos indispensables para la supervivencia de los macroinvertebrados en los diferentes sitios de muestreo.
- Realizar el muestreo de macroinvertebrados en cada uno de los sitios de muestreo seleccionados.
- Evaluar la calidad del agua mediante el uso de índices biológicos.

## **5 MARCO REFERENCIAL**

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible. Contribuye a la estabilidad del funcionamiento del entorno y de los seres y organismos que en él habitan, es por tanto, un elemento indispensable para la subsistencia de la vida animal y vegetal del planeta. Es decir, que "el agua es un bien de primera necesidad para los seres vivos y un elemento natural imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales". En este aspecto, este líquido vital constituye más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos; además interviene de manera fundamental en el proceso de fotosíntesis de las plantas y es el hábitat de una gran variedad de seres vivos (Paredes M. J., 2013).

La mejora de la calidad, genera numerosos beneficios: mejora de los ecosistemas y de los servicios de los ecosistemas, mejora de la salud y mejora de los medios de vida; Por esto la calidad del agua es fundamental para la salud de las personas y los ecosistemas (Unwater, 2010).

La importancia de la calidad del agua reside en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos. Se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y también de sustancias que transmitan sensaciones desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad (Landívar, 2006).

En un inicio la calidad del agua se evalúa mediante datos fisicoquímicos, donde estos analizan básicamente los efectos de la contaminación a corto plazo. La información biológica generada, a partir de los también llamados bioindicadores, no reemplaza los análisis fisicoquímicos, pero si reduce costos por lo que estos

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria  
estudios son importantes en el monitoreo de la calidad del agua (Vazquez & al., 2006)

## **5.1 Caracterización fisicoquímica**

Los parámetros fisicoquímicos evaluados para la calidad del agua son los siguientes:

### **5.1.1 Temperatura**

La radiación solar no solamente determina la calidad de luz, sino que también afecta la temperatura del agua. Mientras que en las zonas templadas la temperatura varía ampliamente con el cambio de estaciones, en las zonas tropicales permanece más o menos constante a lo largo del año: siempre fría en las altas montañas y cálida a nivel del mar. En otras palabras, los organismos sometidos a cambios de estaciones toleran más los cambios de temperatura y sus ciclos de vida están acoplados a estos cambios. Por lo contrario, los organismos tropicales al estar adaptados a temperaturas relativamente constantes, cualquier cambio pueden ser fatales para su supervivencia. Aquellos organismos que toleran cambios de temperatura más estrechos se denominan *estenotermos*; en cambio, los que soportan cambios más amplios se llaman *euritermos* (Roldán Pérez, 2003).

Los organismos mantienen sus células vivas gracias a unos mecanismos fisicoquímicos internos, que se detienen en la mayoría de los casos con leves cambios de temperatura. Se puede esperar, por tanto, que solo un leve cambio en la cantidad de energía que llega a nuestro planeta podría significar la desaparición de la vida, bien sea por congelamiento o por sobrecalentamiento (Roldán Pérez, 2003).

Los impactos más frecuentes están dados por el vertimiento a las corrientes superficiales de aguas provenientes de plantas de enfriamiento utilizadas en gran variedad de actividades industriales. No hay duda de que aumentos de temperatura en el agua, causan la súbita desaparición de la fauna acuática (Roldán Pérez, 2003).

### 5.1.2 Color

El color de un cuerpo lo constituye la luz no absorbida. En el caso del agua, existe gran variedad de colores que van desde el azul hasta el rojo, dependiendo de las sustancias químicas disueltas, de las suspendidas o del plancton en ella existente. Entre las sustancias disueltas están las proteínas, las grasas, los carbohidratos y las sustancias derivadas de estos, como los taninos. Las algas verdeazules dan matiz verdoso al agua y las diatomeas dan color pardo amarillento. Por otro lado, los lagos con abundante roca calcárea presentan un color verdoso; los lagos de origen volcánico presentan un color amarillento debido al azufre y los lagos con abundantes rocas ferruginosas producen tinte rojizo en el agua (Roldán Pérez, 2003).

Por lo regular, los lagos altamente productivos o eutróficos presentan colores amarillentos, azul-grisáceos o pardos; los menos productivos u oligotróficos, tienen tendencia a colores con tonos azulados o verdosos. Los compuestos húmicos originados por descomposición de material alóctono dan color amarillento a los ríos y lagos. Desde el punto de vista limnológico, el agua presenta un *color verdadero (o color específico)* debido a las sustancias en solución o materiales en estado coloidal. El color aparente del agua se debe al resultado de la acción de la luz sobre los materiales particulados suspendidos, junto con otros factores tales como el tipo de fondo o reflexión del cielo. Por tanto, para conocer el color verdadero del agua, esta debe centrifugarse o filtrarse para liberarla de las fuentes que le dan el color aparente (Roldán Pérez, 2003).

Las aguas residuales domésticas contienen por lo regular gran cantidad de nutrientes, lo que provoca incrementos de fitoplancton, dando al agua diferentes tintes de acuerdo con el tipo de algas desarrolladas. El color en sí no afecta de manera directa los organismos, pero sí indirectamente al impedir el paso normal de la luz solar, indispensable para la fotosíntesis. El cambio de color en el agua se convierte, entonces, en una medida visual de contaminación (Roldán Pérez, 2003).

Entre las actividades humanas que provocan cambios de color en el agua están el vertimiento de aguas industriales y domésticas, y las actividades agrícolas y ganaderas (Roldán Pérez, 2003).

### **5.1.3 Turbiedad**

La turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua, puesto que limita el paso de la luz a través de ella. La turbiedad originada por materiales externos al ecosistema se denomina *alóctona*, y la producida dentro del mismo cuerpo se denomina *autóctona* (Roldán Pérez, 2003).

La forma más frecuente como el hombre aumenta la turbiedad del agua es por la construcción de obras de ingeniería, que dejan el terreno expuesto a la erosión. La construcción de vías requiere, en particular, un estudio de impacto ambiental detallado con el fin de disponer adecuadamente el exceso de materiales extraídos, para evitar ser arrastrados por las lluvias. En especial en el trópico, donde las precipitaciones son frecuentes y altas, este se convierte en uno de los factores más perturbadores de los ecosistemas acuáticos. Así mismo, la deforestación y la agricultura intensiva se convierten en fuente de sedimentos, que al depositarse en el fondo de los ríos y lagos destruyen los hábitats de numerosas especies (Roldán Pérez, 2003).

La turbiedad se convierte, por tanto, en una medida visual de contaminación (Roldán Pérez, 2003).

### **5.1.4 Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. la fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria en los ríos y por el viento en los lagos. En los lagos, la fotosíntesis es la fuente más importante de oxígeno y su medición se usa para determinar la productividad primaria, y en cierta medida deducir el estado de eutrofización (Roldán Pérez, 2003).

➤ **Efecto de la temperatura**

La solubilidad del oxígeno en el agua está afectada por la temperatura. Así, a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa. Un cuerpo de agua puede aumentar la solubilidad en cerca de un 40% al bajar la temperatura de 25°C a 0°C; esto se debe a que en el agua fría, las moléculas se unen más, reteniendo, por tanto, mayor cantidad de oxígeno. Un cuerpo de agua posee 14.6 mg/L de oxígeno a 0°C puede bajar su concentración a 6.4 mg/L a 40°C. Ahora se entiende mejor porque un aumento de temperatura puede llegar a desoxigenar un cuerpo de agua en un alto porcentaje (Roldán Pérez, 2003).

➤ **Efecto de la presión atmosférica**

Como la concentración de oxígeno también está afectada por la presión atmosférica (a mayor altura sobre el nivel del mar, menos presión y por ende hay pérdida de oxígeno), los valores de este elemento deben multiplicarse por un factor de corrección. Los equipos modernos traen este factor incluido; dicho factor va de 1.0 a nivel del mar hasta 1.45 a 3.000 m de altura. Debido a que los valores normales de oxígeno dependen de la altura y de la temperatura, es más conveniente expresar los resultados en términos de porcentaje (%), siendo el 100% la concentración ideal. valores por encima o por debajo, indican que algo está perturbando el ecosistema. valores de oxígeno de 50% o menores son letales para la mayoría de los organismos acuáticos (Roldán Pérez, 2003).

Solo aquellos que poseen adaptaciones como abundante hemoglobina (*tubifex* y *Chironomus* rojo) pueden resistir este déficit de oxígeno. De igual manera, poblaciones dominantes de efemerópteros, tricópteros y plecópteros son indicadores de porcentajes de saturación del 100% o muy cercano. Un limnólogo experimentado puede estimar la concentración de oxígeno de un cuerpo de agua por la fauna encontrada o viceversa (Roldán Pérez, 2003).

➤ **Efecto de la salinidad**

La solubilidad del oxígeno también está afectada por un incremento de su salinidad. A 0°C el agua dulce contiene aproximadamente 2.8 mg/L más que el agua de mar; a 15°C la diferencia es de aproximadamente de 2.1 mg/L. Este factor es muy importante tenerlo en cuenta cuando se trabaja en ecosistemas acuáticos con salinidades cercanas a las del mar, pues allí los problemas de adaptación de los organismos ya no son solo por déficit de oxígeno, sino también por osmorregulación. Se concluye, entonces, que un incremento de salinidad en los ecosistemas de agua dulce sería letal para la mayoría de los organismos que allí habitan (Roldán Pérez, 2003).

➤ **Efectos de la materia orgánica disuelta**

Las aguas naturales no contaminadas poseen por lo regular bajas concentraciones de materia orgánica disuelta (menos de 2 mg/L). La contaminación por desechos domésticos o industriales puede agotar el oxígeno en el agua, pues la materia orgánica lo requiere para su descomposición. La DBO (demanda bioquímica de oxígeno) es una medida de valoración de la cantidad de materia orgánica que se encuentra en un cuerpo de agua. El exceso de materia orgánica agota el oxígeno en el agua; bajo estas condiciones, el agua tiene la apariencia de un color turbio grisáceo y olores característicos de huevos podridos (ácido sulfhídrico). Es de esperarse, por tanto, una fuerte reducción de la diversidad de especies de macro invertebrados, quedando presentes por lo regular en grandes números, solo aquellos adaptados para resistir dichas condiciones (Roldán Pérez, 2003).

La disminución del oxígeno disuelto en el agua debido a cambios de temperatura, salinidad o contenido de materia orgánica puede ser fatal para la mayoría de organismos acuáticos (Roldán Pérez, 2003).

### **5.1.5 Conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos**

La conductividad eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua y, por ende, se relaciona con la salinidad. La conductividad se define como el recíproco de la resistencia medida entre dos electrodos de 1.0 cm<sup>2</sup> y distanciados entre sí por un 1.0 cm. los valores de conductividad se expresan en microsiemens por cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Roldán Pérez, 2003).

Los sólidos totales disueltos (STD) se refieren a la concentración total de minerales presentes en las aguas naturales, y la salinidad, a la concentración total de los componentes iónicos. Debido a la estrecha relación existente entre la salinidad, los sólidos disueltos y la conductividad, se pueden construir tablas en que se encuentre el equivalente para cada uno de ellos (Roldán Pérez, 2003).

La conductividad en las aguas superficiales tropicales de montaña por lo regular es muy baja (aguas oligotróficas): entre 10 y 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . igualmente, las aguas de los ríos de la selva pluvial tropical contiene conductividades muy bajas (menos de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). las lagunas costeras influenciadas por corrientes marinas y aguas subterráneas presentan conductividades superiores a los 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . prácticamente los mismos iones que existen en la tierra también se encuentran en el agua; por ello, la composición química de un cuerpo de agua refleja la naturaleza geoquímica del terreno que la contiene (Roldán Pérez, 2003).

Bajo condiciones naturales, en ecosistemas acuáticos de alta montaña, a medida que aumenta la conductividad disminuye la diversidad de especies. Un aumento de sales en el agua provocado por actividades humanas produce el mismo efecto. Para un limnólogo experimentado, la conductividad y el pH son dos de las medidas que más aportan acerca de la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático. La conductividad se convierte, así, en una medida útil para determinar la calidad del agua (Roldán Pérez, 2003).

### 5.1.6 pH

El pH es acrónimo para potencial de hidrógeno, e indica la concentración del ión hidronio en una solución. El término pH expresa la intensidad de un ácido, dependiendo de su capacidad de disociación, así como de su concentración. El agua es un electrolito débil, en consecuencia sólo una pequeña fracción de ésta se disocia en los iones que componen la molécula:  $H_3O^+$  (ión ácido) y  $OH^-$  (ión básico) (Parametros Fisico-quimicos, pH:uprm.edu).

La fracción del agua que se ioniza es tan pequeña que la concentración de agua no disociada se aproxima a 1.0. Esa razón se hace evidente si consideramos una solución neutra, dónde por cada tonelada métrica de moléculas de agua habría aproximadamente 0.1 mg de  $H^+$  y 1.7 mg de  $OH^-$ . En agua pura (pH 7.0), la razón de iones de hidronio a iones hidroxilo es igual a 1.0 (Parametros Fisico-quimicos, pH:uprm.edu).

La temperatura afecta la constante de disociación del agua y por ende, cambios en temperatura redundan en cambios en las concentraciones relativas de los iones hidronio e hidroxilo (Parametros Fisico-quimicos, pH:uprm.edu).

Es un factor abiótico que regula procesos biológicos mediados por enzimas (ej. fotosíntesis, respiración); la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas (ej.  $NH_4^+$ ,  $PO_4^{3-}$  y  $Mg^{2+}$ ); la movilidad de metales pesados tales como cobre, que es tóxico para muchos microorganismos; así como también afecta o regula la estructura y función de macromoléculas y organelos tales como ácidos nucleicos, proteínas estructurales y sistemas de pared celular y membranas. Variaciones en pH pueden tener entonces efectos marcados sobre cada uno de los niveles de organización de la materia viva, desde el nivel celular hasta el nivel de ecosistemas (Parametros Fisico-quimicos, pH:uprm.edu).

#### ➤ **Factores que afectan el pH de un cuerpo de agua natural**

En el caso de aguas oceánicas, donde el sistema de amortiguación de carbonatobicarbonato opera efectivamente, el pH varía dentro de unos límites

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria estrechos (8.1 ~ 8.3). En aguas cercanas a la costa, el pH de agua de mar se puede alejar del valor promedio indicado por efecto de la actividad fotosintética, la respiración celular y el efecto de descargas de origen antropogénico. En aguas interiores las variaciones en pH son grandes. El pH de lagos alcalinos puede tener valores mayores a 10 ó 11 unidades, mientras que el pH en algunas ciénagas o pantanos puede ser menores de 4.0 (Parametros Fisico-quimicos, pH:uprm.edu).

En términos generales, el pH de un cuerpo de agua puede variar a lo largo de un amplio rango de valores, dependiendo de factores intrínsecos y extrínsecos al ambiente acuático:

- Factores intrínsecos
  - ✓ Capacidad amortiguadora del sistema de alcalinidad carbonato-bicarbonato
  - ✓ Estratificación y mezcla del sistema acuático
  - ✓ Evaporación
  - ✓ La intensidad de procesos biológicos tales como fotosíntesis, respiración y actividades de descomposición de materia orgánica
  - ✓ La interacción de los factores arriba mencionados con el sistema de alcalinidad
  
- Factores extrínsecos
  - ✓ Composición de: suelos adyacentes, depósitos superficiales y lecho rocoso
  - ✓ Fuentes de contaminación: drenaje ácido de minas, precipitación ácida
  - ✓ Presión parcial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera
  - ✓ Temperatura (Parametros Fisico-quimicos, pH:uprm.edu).

## **5.2 Caracterización Biológica**

### **5.2.1 Descripción de los principales órdenes de Macroinvertebrados utilizados en los índices biológicos.**

#### **➤ Ephemeroptera**

Los efemerópteros reciben este nombre debido a su vida corta o “efímera” que llevan como adultos. Algunos pueden vivir en este estado sólo cinco minutos, pero la mayoría viven entre tres y cuatro días; durante este tiempo alcanzan la madurez sexual y se reproducen. Los huevos los depositan generalmente en la superficie del agua y poseen estructuras que les permite fijarse al sustrato. La respiración la realiza a través de agallas, generalmente abdominales, las cuales varían en forma y número de acuerdo con la especie (Pérez, 1988).

Sus ninfas se encuentran normalmente adheridas a rocas, troncos, hojas, o vegetación sumergida; algunas pocas especies se encuentran enterradas en fondo lodoso o arenoso (Pérez, 1988).

Las ninfas son prácticamente herbívoras y se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas. a su vez, las ninfas de los efemerópteros constituyen una parte importante en la dieta alimenticia de los peces, especialmente la trucha y la sabaleta (Pérez, 1988).

Las ninfas de Ephemeroptera viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas; sólo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. En general se consideran indicadores de buena calidad del agua (Carrión & Rivera, 2007).

#### **➤ Plecoptera**

Las ninfas de los plecópteros realizan su respiración por medio de las agallas y a través de la superficie corporal. Los huevos los ponen sobre el agua durante el

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria  
vuelo. La eclosión de los huevos y la emergencia de las ninfas en los trópicos no se conocen; es posible que se haga a lo largo del año, alternamente en periodos de lluvia y sequía (Pérez, Familia Plecoptera, 1988).

Las ninfas de los Plecóptera viven en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas. Se ha observado en ciertos casos que son especialmente abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2000m de altura. Son, por tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas (Carrión & Rivera, 2007).

### ➤ **Trichoptera**

Los tricópteros son insectos que se caracterizan por hacer casa o refugios que construyen en un estado larval, los cuales sirven a menudo para su identificación (Roldán, 1988).

Los tricópteros son insectos holometábolos cuyas larvas viven en todo tipo de hábitat (lóticos y lénticos), pero en los lóticos fríos es donde parece presentarse la mayor diversidad (Roldán, 1988).

La mayoría de los tricópteros requieren de uno o dos años para su desarrollo, a través de los cuales pasan por cinco a siete estadios. La etapa pupal dura de dos a tres semanas, al cabo de las cuales sale el adulto. Los adultos son muy activos en las primeras horas de la noche, las hembras depositan los huevos en el agua y los encierran por lo regular en una masa gelatinosa (Roldán, 1988).

Una de las características más llamativas es su capacidad de construir casas o refugios, de formas variadas, a menudo propio de cada especie. Los refugios fijos al sustrato les sirven por lo regular de protección y captura de alimento. Las casas portables les sirven de protección y de movimiento en busca de oxígeno y alimento. Las larvas se alimentan de material vegetal y algas que se encuentran sobre las rocas. Algunas larvas son depredadoras (Roldán, 1988).

En los ambientes acuáticos especialmente ríos y quebradas, los Trichoptera juegan un papel importante, tanto en las cadenas alimentarias como el reciclaje de nutrientes. Debido a su gran diversidad y el hecho de que las larvas poseen distintos ámbitos de tolerancia y según la familia o el género al que pertenecen, son muy útiles como bioindicadores de calidad de agua y la salud del ecosistema (Carrión & Rivera, 2007).

### ➤ **Coleoptera**

La mayoría de Coleoptera acuáticos viven en aguas continentales lólicas y lénticas. En las zonas lólicas los sustratos más representativos son troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arena y la vegetación sumergida y emergente. Las zonas más ricas son las aguas someras en donde la velocidad de la corriente no es fuerte, aguas limpias, con concentraciones de oxígeno alto y temperaturas medias (Carrión & Rivera, 2007).

Algunos coleópteros acuáticos pueden abandonar temporalmente su hábitat acuático para pasar al terrestre, dependiendo de las condiciones y horas del día. Así, por ejemplo, algunos de la familia Elmidae ese estado adulto se les puede encontrar en las horas de la mañana y en días calurosos, sobre rocas o troncos que se encuentran en los ríos. Las familias Dytiscidae, Hydrophilidae, Halipidae y Gyrinidae, entre otras, es común encontrarlas en zonas lénticas temporales, con valores de temperatura, conductividad y el dióxido de carbono por encima de lo normal. Estos organismos, por lo general, presentan además, ajustes y mecanismos evolutivos que les permite tomar el oxígeno del aire (Pérez, Familia Coleoptera, 1988).

En cuanto a sus relaciones bióticas, los coleópteros presentan niveles tróficos diferentes, que van desde el segundo hasta el quinto nivel trófico de la cadena alimenticia acuática. Algunos de ellos se les pueden encontrar en varios niveles. Por lo tanto, pueden ser herbívoros, carnívoros o detritívoros (Pérez, Familia Coleoptera, 1988).

➤ **Odonata**

Los Odonata viven en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas, por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente. Viven en aguas limpias o ligeramente eutrofizadas (Carrión & Rivera, 2007).

La mayoría de los odonatos ponen sus huevos sobre la vegetación flotante o emergente. Las larvas son generalmente depredadoras, para lo cual juega un papel muy importante su aguda visión. El intercambio gaseoso lo realizan a través de la piel y agallas anales (Pérez, Familia Odonata, 1988).

### **5.2.2 Descripción de los índices biológicos de calidad del agua.**

➤ **Biological monitoring working party score system (BMWP)**

El BMWP es un índice biológico de fácil utilización y de aplicabilidad, permite estimar la calidad de un ecosistema acuático a partir de la valoración de las especies acuáticas que habitan en el mismo; se atribuye a cada familia de un valor determinado de acuerdo con su tolerancia a la contaminación que va de 1 a 10, de manera que las familias más tolerantes obtienen una menor puntuación que aquellas que requieren una mejor calidad de las aguas en que viven. Los rangos para clasificar la calidad del agua van desde muy limpias hasta contaminadas, en un rango en un puntaje que varía entre 120 y 1 (Galindo-Leva & al., 2012). La suma de los valores obtenidos para cada familia en un punto de muestreo dará el grado de contaminación del mismo. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del punto estudiado (Galindo-Leva & al., 2012).

<b>Categoría</b>	<b>Rango</b>
Aguas muy limpias	> 120
Aguas no alteradas de modo sensible	101-120
Aguas con evidencia de algunos efectos de contaminación	61-100
Aguas contaminadas	36-60
Aguas muy contaminadas	16-35
Aguas fuertemente contaminadas	<15

Figura 1 Categoría del agua según el puntaje BMWP

Fuente: (Galindo-Leva & al., 2012)

➤ **EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera)**

Índice biológico que se refiere a la presencia o ausencia de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en una comunidad biológica. En general, las especies de estos grupos de insectos son sensibles a las perturbaciones humanas de aquí su uso como indicadores en el cálculo del índice. Los valores que se obtienen para este índice se confrontan con una tabla de categorías de calidad del agua de la misma manera que con el BMWP (Galindo-Leva & al., 2012). Se calcula sumando todos los individuos presentes por cada una de las tres familias y se divide por la abundancia es decir, el número total de individuos del muestreo y luego se multiplica por 100 y el resultado se analiza con la siguiente tabla.

<b>Categoría</b>	<b>Rango</b>
Sin impacto	> 10
Levemente impactado	6-10
Moderadamente impactado	2-5
Severamente impactado	0-1

Figura 2 Categoría del agua según el puntaje ETP

Fuente: (Galindo-Leva & al., 2012)

➤ **Análisis de sensibilidad**

Este análisis toma en cuenta el grado de sensibilidad que tienen las diferentes familias de macroinvertebrados a los contaminantes. Por esta razón debe determinar la presencia de los diferentes grupos de macroinvertebrados, y no el número de individuos (Abundancia). La suma total de la presencia indica

Calidad de Agua	
101 - 145	Muy buena
61 - 100	Buena
36 - 60	Regular
16 - 35	Mala
0 - 15	Muy mala

Figura 3 Calidad del agua según el puntaje de sensibilidad

Fuente: (Carrera & Fierro, 2001)

## 6 DESARROLLO METODOLÓGICO

### 6.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en la cuenca El Tabor la cual se halla ubicada principalmente en las veredas El Tabor y Vallejuelos, (núcleo zonal, Vallejuelos) a unos cuantos minutos del centro urbano del municipio de San Carlos. Geográficamente la cuenca se localiza en las coordenadas 6°12'20.8" latitud Norte y 74°54'58.6" longitud Oeste (punto ubicado en la escuela El Tabor), y tiene una extensión de 798.10 Hectáreas. La cuenca nace a los 1800 m.s.n.m y desemboca finalmente al río San Carlos a 1000 m.s.n.m. La cuenca El Tabor se compone de diferentes drenajes, evidenciándose por la cantidad de fuentes que vierten sus aguas a la quebrada El Tabor, tales como, Chorro de Oro, La Culebra, La Inmaculada y finalmente La Retirada. La quebrada El Tabor hace parte de la oferta hídrica natural que surte, junto a otras dos quebradas el sistema de acueducto principal municipal (Cornare, 2006).

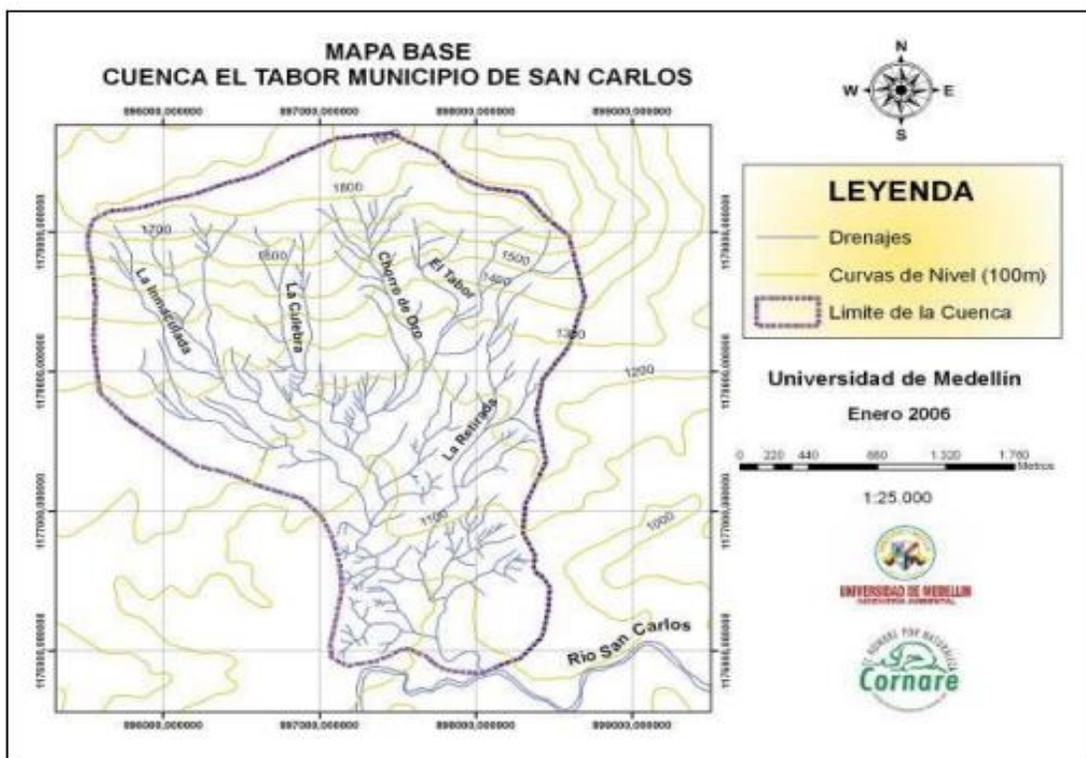


Figura 4 Delimitación de la cuenca El Tabor Municipio de San Carlos Antioquia  
Fuente: (Cornare, 2006)

## 6.2 Identificación de los puntos de muestreo

Se realizó una visita de reconocimiento general de la cuenca, para corroborar la información sobre los sistemas productivos y los usos del suelo, la identificación de la geología y morfología de la zona de estudio, expuestos en Plan de Ordenamiento del Municipio de San Carlos y el Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la Cuenca El Tabor realizado por CORNARE sobre la quebrada El Tabor, y de esta manera identificar los tres sitios de muestreo.

Para el desarrollo del presente análisis y determinar la calidad del agua, se estableció en la Quebrada “El Tabor” tres (3) sitios de muestreo descritos a continuación.

**SITIO 1. ZONA ALTA.** Este sitio de muestreo ubicado en las coordenadas 06°12'2,97" N y 75°00'20.26" O. Fue considerado importante por encontrarse ubicado antes de la captación de agua que realiza la empresa de servicios públicos para abastecer el acueducto municipal de San Carlos, es una zona donde la intervención antrópica aguas arriba es muy baja, con una cobertura vegetal de rastrojo alto y bajo; y donde no se observan vertimientos de aguas residuales.

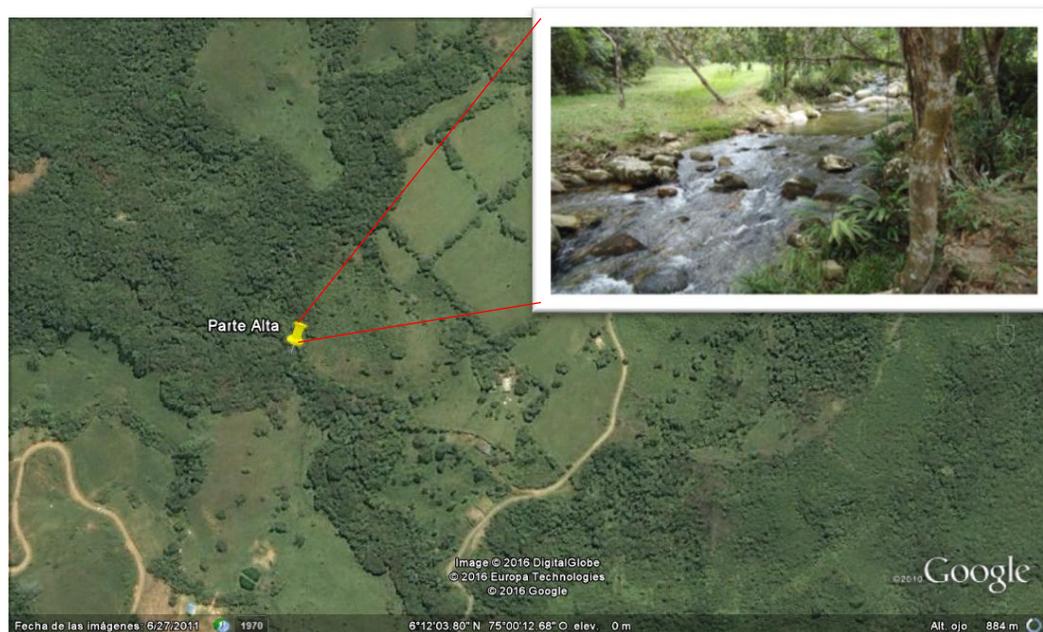


Figura 5 Punto de muestro Parte Alta Quebrada El Tabor.  
Fuente: Google Earth.

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

**SITIO 2. ZONA MEDIA.** Este sitio de muestreo está ubicado en las coordenadas 06°11'52,71" N y 75°00'15,26" O. Este punto fue seleccionado debido a que se encuentra ubicado en una zona cercana a un asentamiento humano llamado El Tabor y la existencia de una carretera sin pavimentar (ver figura 6), que es la única vía de acceso al lugar, siendo una vía muy transitada por personas, animales y vehículos.

El sitio cuenta con gran presencia de rocas en su parte intermedia y a su alrededor, además de la gran presencia de rastrojo alto y bajo.

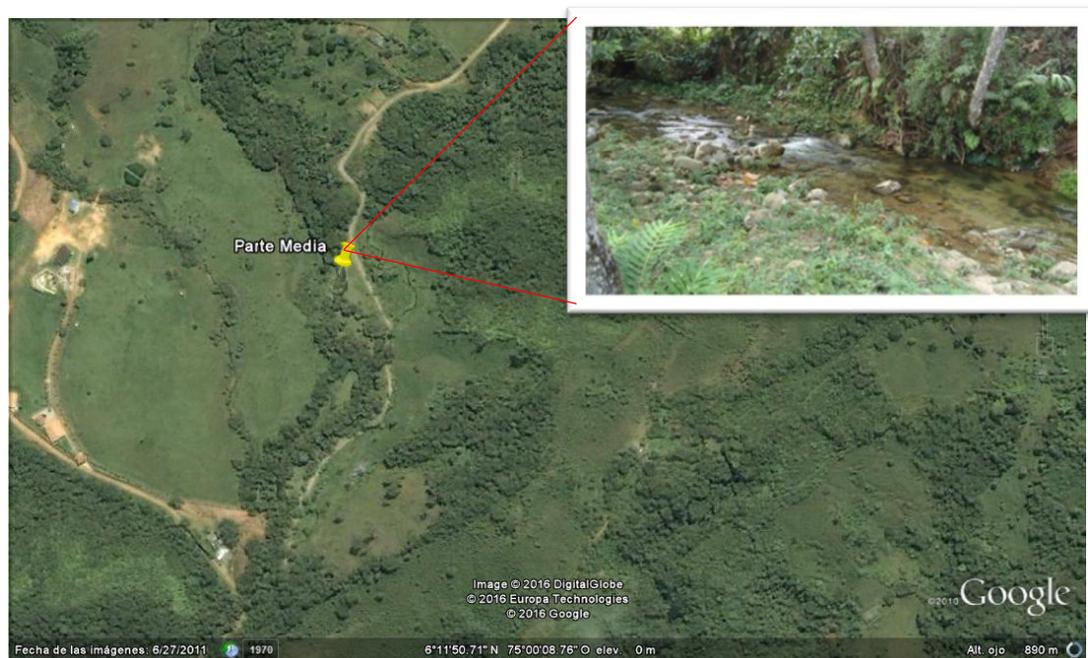


Figura 6 Punto de muestro Parte Media Quebrada El Tabor.

Fuente: Google Earth.

**SITIO 3. ZONA BAJA.** Sitio de muestreo ubicado en las coordenadas 06°11'16,70" N y 75°00'2,54" O, importante por su cercanía a la desembocadura del río San Carlos, lo cual da un indicio de la afectación de la calidad del agua de este último teniendo en cuenta las actividades de uso recreativo y la modificación del paisaje que se han llevado a cabo en la cuenca de la quebrada El Tabor.

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

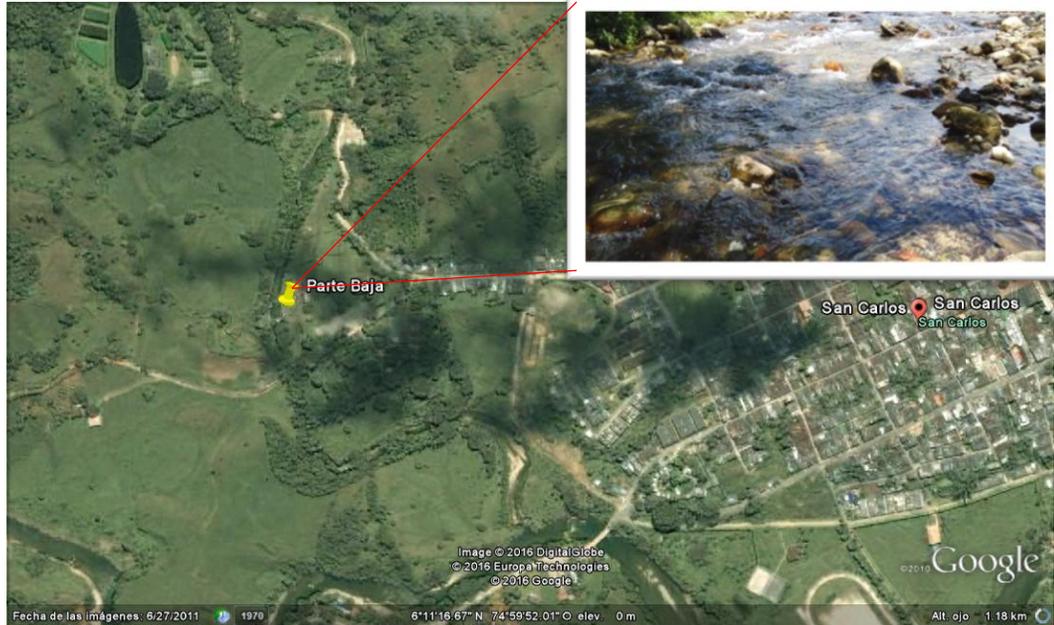


Figura 7 Punto de muestro Parte Baja Quebrada El Tabor. Google Earth.

En la Figura 8 se presenta la distribución de los sitios de muestreo definidos para la determinación de la calidad del agua.

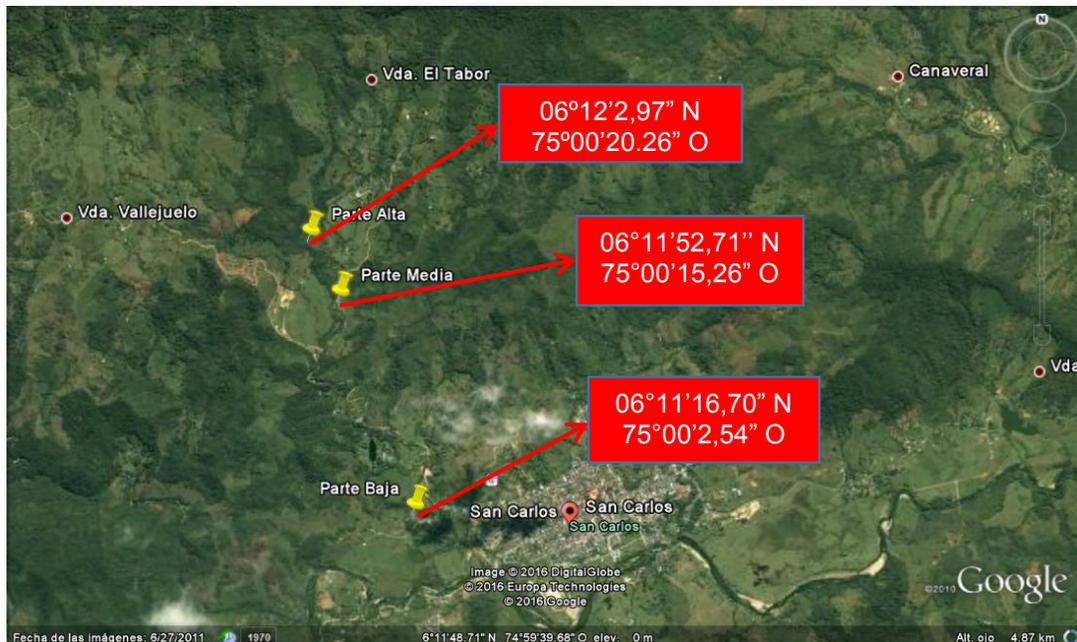


Figura 8 Ubicación geográfica de los tres puntos de muestreo seleccionados, Quebrada El Tabor. Google Earth.

### 6.3 Medición de los Parámetros Fisicoquímicos

Se realizaron tres visitas a la microcuenca El Tabor, con el fin de recolectar macroinvertebrados (bioindicadores) y la toma en campo de parámetros in situ como la conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura, la ubicación geográfica y la altura sobre el nivel del mar. Para esto se utilizaron equipos de toma directa como GPS, multiparametro con sonda de pH y sonda de oxígeno, correntómetro y un conductímetro. Esta medición se realizó con el fin de conocer los factores abióticos principales de la fuente hídrica y obtener información comparativa para los índices biológicos realizados.

Previamente se verificó que cada uno de los equipos estuvieran calibrados para cada uno de los sitios de muestreo, garantizando la confiabilidad de los datos.

Tabla 1 Equipo de muestreo

PARÁMETRO	EQUIPO
pH - Temperatura	HACH HQ40D
Oxígeno disuelto	HACH HQ40D
Conductividad	Cond 3110 SET 1, 2CA101
Caudal	Correntómetro Rickly Hydrological
Georreferenciación	GPS- GARMIN Etrex 10

Fuente:

propia

### 6.4 Recolección de los Macroinvertebrados

Con el fin de recolectar la mayor diversidad posible de macroinvertebrados, se realizaron tres visitas de monitoreo, a cada uno de los sitios seleccionados en la parte alta, media y baja; las fechas de las visitas llevadas a cabo fueron: 3 de octubre de 2016, 10 de octubre del 2016 y 14 de octubre del 2016, respectivamente.

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

La recolección se realizó sobre el cauce a 10 metros corriente arriba y 10 metros corriente abajo de cada punto de muestreo, por un tiempo de 30 minutos. En cada muestreo se tuvo en cuenta dos microhábitats (piedra y sedimento-hojarasca). En el caso de las piedras, se recolectaron todos los macroinvertebrados observados con la ayuda de pinzas entomológicas, mientras que en el caso de la hojarasca se depositaron muestras en bolsas herméticas de plástico y transportadas al laboratorio para hacer la identificación.

Adicional a esto, se implementó también el método de recolección mediante red de pantalla, la cual se situó en diferentes partes de la fuente hídrica y se removió el fondo del lecho para que de esta manera quedaran atrapados en la red los macroinvertebrados de la superficie y el fondo. Para la recolección en las orillas del lecho se utilizó una red de mano triangular, se hizo un barrido a lo largo de las orillas con vegetación atrapando de esta forma los organismos allí existentes.

En cada estación se realizó una descripción del hábitat mediante un formato de campo (Anexo 1). Las muestras recolectadas fueron depositadas en recipientes de plástico con alcohol al 70%, debidamente rotulados con estación y fecha de visita, posteriormente fueron guardados y transportados en bolsas herméticas hasta su posterior identificación.



Figura 10 Red de mano triangular



Figura 9 Red pantalla



Figura 12 Recolección de hojarasca



Figura 11 Recolección de macroinvertebrados

### 6.5 Identificación y Clasificación de los Macroinvertebrados

Para la identificación de los macroinvertebrados se utilizó un estéreo-microscopio proporcionado por el laboratorio de Criminalística de la Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia, y las guías empleadas para su clasificación taxonómica fueron: *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia* (Pérez, 1988) y la *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia* (Roldán, 2003).

Las muestras se colocaron en portaobjetos para poder ser observadas en estéreo microscopio y para su manipulación se utilizaron pinzas de punta fina y contextura delicada para no maltratar los organismos. Las muestras de hojarasca se esparcieron en bandejas blancas y se removieron cuidadosamente de un extremo a otro, para asegurarse de que no pasaran inadvertidos ciertos organismos, bien sea por su tamaño o por estar camuflados con los restos de vegetación o los sustratos minerales. Se realizó un conteo de todos los individuos encontrados y se clasificaron por orden, clase y familia.

En el Anexo 2 se presentan las evidencias fotográficas de los principales macroinvertebrados encontrados en la identificación y clasificación.



Figura 14 Muestras de macroinvertebrados



Figura 13 Identificación en el estero microscopio

## 6.6 Cálculo del Índice EPT

El índice EPT se obtuvo mediante la suma total de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera presentes en los muestreos hechos en cada estación y dividido el número de individuos total recolectados.

El valor del índice de calidad se calculó a partir de la ecuación:

$$\left( \frac{\text{Número de individuos de los órdenes EPT}}{\text{Número total de individuos del muestreo}} \right) * 100$$

Tabla 2 Calidad del agua a partir de índice EPT

CALIDAD SEGÚN ÍNDICE EPT	RANGO (%)	COLOR
Muy buena	75 -100	Blue
Buena	50 - 74	Green
Regular	25 -49	Yellow
Mala	0 -24	Red

## 6.7 Cálculo del índice BMWP/Col

El índice BMWP/Col se obtuvo sumando los puntajes de tolerancia de cada una de las familias encontradas en los muestreos realizados a cada estación teniendo en cuenta la información reportada en la Tabla 3.

Tabla 3 Puntaje del BMWP según las familias de Macroinvertebrados

FAMILIA	PUNTAJE
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessidae, Odontoceridae, Oligoneuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyploclidas, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Paiaernonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simultidae, Veliidae.</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaleiidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Naucoridae, Notonectidae, Planaridae, Psychodidae, Scirtidae.</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelestocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thianidae,</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.</i>	4
<i>Ceratopogoriidae, Glossiphoniidae, Cyclobdelliidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.</i>	3

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.</i>	2
<i>Tubilicidae.</i>	1

Para la definición del índice de calidad del agua se comparó el puntaje obtenido con la información presentada en la Tabla 4.

Tabla 4 Calidad del agua a partir del índice BMWP

Calidad	Valor del BMWP/Col	Significado	Color cartográfico
Buena	Mayor 150	Aguas muy limpias	Blue
	101-120	Aguas no contaminadas	
Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Green
Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Yellow
Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Orange
Muy critica	Menor a 15	Aguas fuertemente contaminadas Situación critica	Red

### 6.8 Cálculo del análisis de sensibilidad

Este análisis se obtuvo mediante la suma total de la presencia de las familias de macroinvertebrados, (sin tener en cuenta el número de individuos encontrados) y los valores obtenidos fueron comparados con la información presentada en la Tabla 5.

Tabla 5 Calidad del agua para el análisis de sensibilidad

Calidad del agua	
Muy buena	101-145
Buena	61-100
Regular	36-60
Mala	10-35

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Muy mala	0-15
----------	------

## **7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **7.1 Resultados obtenidos en la caracterización de la zona alta**

En el muestreo de macroinvertebrados realizado en la zona alta de la fuente hídrica se encontraron 10 órdenes, 20 familias, 25 géneros y 18 especies, para un total de 136 individuos recolectados en el primer muestreo, 181 en el segundo muestreo y 164 en el tercer muestreo (Ver tabla 6).

Referente a las familias, la Veliidae presentó mayor abundancia de individuos con 74, seguido Baetide con 20 individuos y Gerridae con 16 individuos. Las familias con menor abundancia de individuos fueron Diptera con 1 individuos colectados (ver tabla 6).

Tabla 6 Macroinvertebrados recolectados en la Zona Alta

Macroinvertebrados Recolectados en la Zona Alta										
Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Individuos Muestreo 1	Individuos Muestreo 2	Individuos Muestreo 3	Promedio		
Artrópoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Oecetis	1	1	2	1,33		
				Grumichella	3	4	1	2,67		
				Atanotica	1	2	2	1,67		
			Hydrobiosidae	Atopsyche	1	3	4	2,67		
			Polycentropodidae	Polycentropus	2	6	4	4,00		
			Calamoceratidae	Phylloicus	4	3	7	4,67		
		Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	2	4	1	2,33		
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes	1	2	3	2,00		
			Baetidae	Baetodes	1	16	11	9,33		
				Baetis	2	19	12	11,00		
			Tricorythidae	Leptohyphes	1	3	3	2,33		
		Neuroptera	Corydalidae	Corydalis sp	1	2	3	2,00		
		Diptera	Ortorraphanemato	Hexatoma	cera Tipulidae	1	2	1	1,33	
			Psephenidae			Psephenops	2	3	2	2,33
		Coleoptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	1	2	2	1,67		
			Elmidae	Cylloepus	4	7	6	5,67		
				Heterelmis	1	2	4	2,33		
		Tricladida	Turbellaria	Dugesia	1	1	2	1,33		
		Gastropoda	Gastropoda	Hydrobiidae.	1	3	2	2,00		
			Lymnaeidae	Lymnaea.	3	6	1	3,33		
		Hemiptera	Belostomidae	Belostoma	1	5	1	2,33		
					Brachymetra	3	7	6	5,33	
					Tenagogogeris euphrosyne sp	13	11	7	10,33	
			Gerromorpha Veliidae	Microvelia	84	64	75	74,33		
			Odonata	Coenagrionidae	Argia	1	3	2	2,00	
		<b>Total Individuos</b>					136	181	164	160,33

### 7.1.1 Los índices biológicos de la Zona Alta

Los índices biológicos se realizaron con el promedio de las familias encontradas en los tres muestreos realizados para esta zona.

El valor del índice BMWP/Col, para la zona alta obtenido fue de 132 (Ver tabla 7), y al comparar este resultado en la tabla 4, se obtuvo que el agua se encuentra en la clase 1, calidad buena, es decir aguas muy limpias. Esto se debe a que se encontraron familias a las que se les otorgó puntajes muy altos, comprendidos entre 10 y 6, todo esto conforme con la bibliografía que ya se tiene de las familias y sus respectivos puntajes (Tabla 3).

Se encontraron familias como la Gerridae, con un promedio de 16 individuos de dos especies diferentes, a las que según el BMWP se les califica con 8, y que por el hábitat en que viven son organismos muy tolerantes a diferentes tipos de contaminación antrópica, aunque no puedan vivir si hay cualquier agente tensoactivo que reduzca la tensión superficial del agua. Por estas razones, no se les considera como buenos indicadores de la calidad del agua. Lo que nos lleva a que pueden existir más familias como la antes mencionada que sean tolerantes a la contaminación y que el agua no sea tan de buena calidad como arrojó el resultado de este índice.

Tabla 7 Índice BMWP/Col para la zona alta

<b>Índice BMWP/Col Zona Alta</b>	
<b>Familia</b>	<b>Puntaje de Tolerancia</b>
Calamoceratidae	10
Perlidae	10
Leptophlebiidae	9
Corydalidae	6
Psephenidae	10

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Turbellaria	6
Baetidae	8
Elmidae	7
Polycentropodidae	7
Leptoceridae	8
Tricorythidae	7
Hydrobiosidae	9
Belostomidae	6
Gerromorpha Veliidae	8
Leptoceridae	6
Gerridae	8
Coenagrionidae	7
<b>Total Puntaje BMWP/Col</b>	<b>132</b>
<b>CALIDAD</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>Buena</b>	<b>Aguas muy limpias</b>

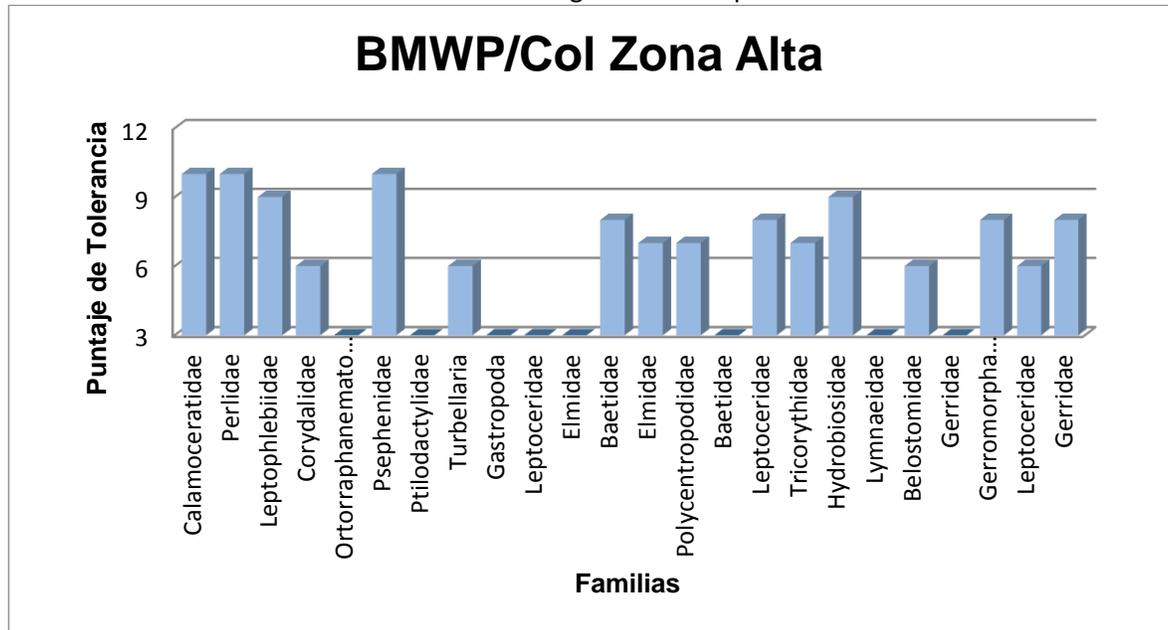


Figura 15 Familias y puntaje de tolerancia BMWP/Col para la Zona Alta

➤ Al realizar el índice de EPT, se obtuvo un total de 45 individuos presentes en el total de toda la muestra analizada, obteniendo un resultado de 13,97%, lo cual corresponde a un agua de mala calidad, en el índice biológico EPT sólo se toman en cuenta los individuos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, aunque estos órdenes son los más sensibles a cambios en la contaminación del agua no se toman en cuenta órdenes que presentan familias muy sensibles como la Veliidae.

Tabla 8 índice EPT para la zona alta

Índice EPT Zona Alta			
Orden	Familia	Género	Individuos promedio
Trichoptera	Leptoceridae	Oecetis	1,33
		Grumichella	3
		Atanatolica	2,67

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria			
	Hydrobiosidae	Atopsyche	2,67
	Polycentropodidae	Polycentropus	4
	Calamoceratidae	Phylloicus	4,67
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes	2
	Baetidae	Baetodes	9,33
		Baetis	11
	Tricorythidae	Leptohyphes	2,33
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	2
<b>Total EPT</b>			<b>45</b>
<b>EPT Total/Abundancia Total</b>			<b>28,06</b>
			<b>13.97%</b>
			<b>Mala</b>

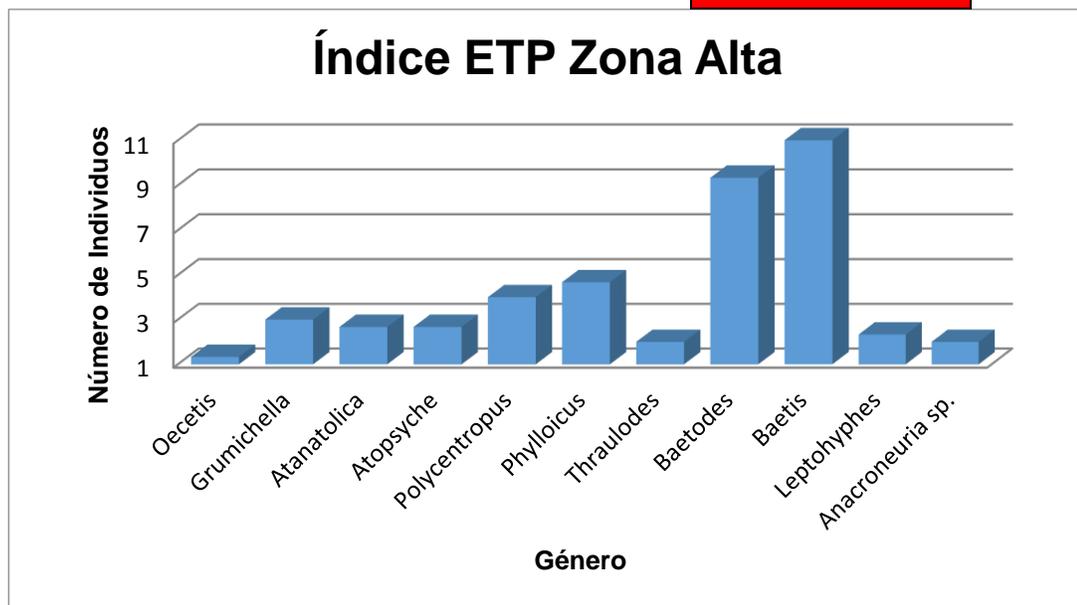


Figura 16 Géneros y número de individuos para el puntaje EPT Zona Alta

➤ En el índice de sensibilidad, el resultado obtenido fue de 76, es decir un agua de calidad buena, es decir que las familias presentes en este hábitat son sensibles a la contaminación, pero algunas pueden tolerar cierto grado de contaminación.

➤ Tabla 9 Índice de sensibilidad para la zona alta

Índice de Sensibilidad Zona Alta				
Orden	Familia	Género	Individuos	Sensibilidad
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	2	10
Neuroptera	Corydalidae	Corydalis sp	1	6
Coleoptera	Psephenidae	Psephenops	2	10
	Ptilodactylidae	Anchytarsus	1	10
	Elmidae	Heterelmis	1	6
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	2	7
Trichoptera	Leptoceridae	Grumichella	3	9
	Hydrobiosidae	Atopsyche	1	9
	Leptoceridae	Oecetis	1	9
<b>Sensibilidad Total</b>				<b>76</b> <b>Buena</b>

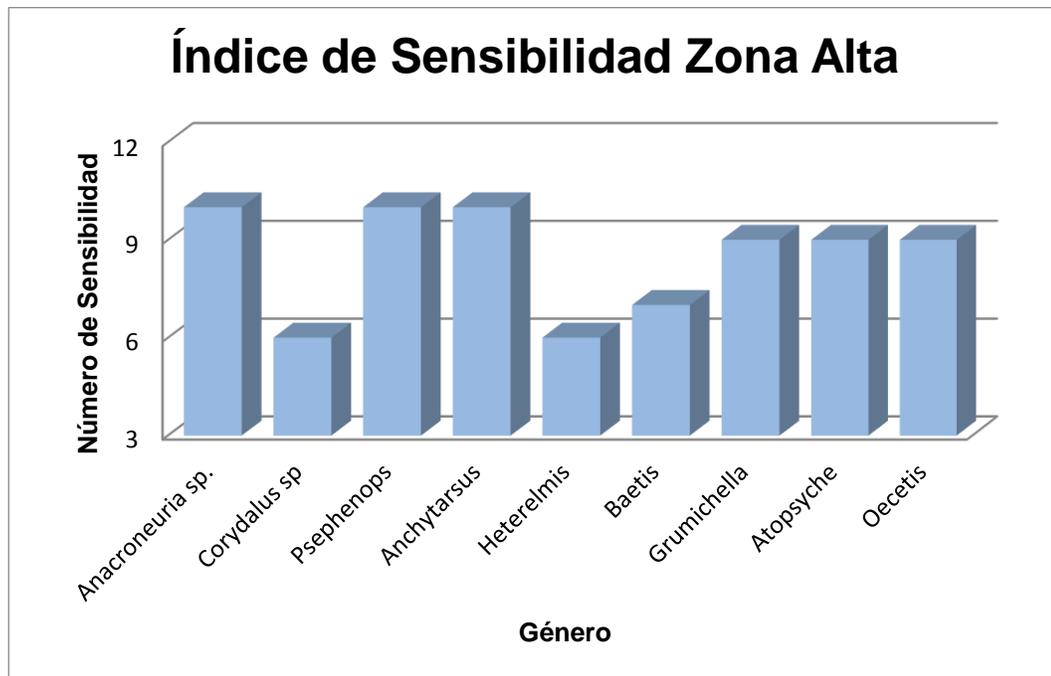


Figura 17 Género y número de sensibilidad para la Zona Alta

## **7.2 Resultados obtenidos en la caracterización de la zona media**

En el muestreo de macroinvertebrados realizado en la zona media de la fuente hídrica se encontraron 8 órdenes, 18 familias, 23 géneros, para un total de 155 individuos recolectados en el primer muestreo, 93 en el segundo muestreo y 113 en el tercer muestreo (Ver tabla 10).

Referente a las familias, la Gerridae presenta mayor abundancia de individuos con 25, seguido de Leptoceridae con 18 individuos y Coenagrionidae con 14 individuos. Las familias con menor abundancia de individuos fue Oligochaeta con 1 individuos colectados.

Tabla 10 Macroinvertebrados recolectados en la zona Media

Macroinvertebrados recolectados en la Zona Media								
Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Individuos Muestreo 1	Individuos Muestreo 2	Individuos Muestreo 3	Promedio
ARTROPODA	INSECTA	Trichoptera	Helicopsychidae	Helicopsyche	2	1	5	2,67
			Leptoceridae	Oecetis avara	6	4	5	5,00
				Grumichella	21	3	6	10,00
				Atanatolica sp	2	2	1	1,67
				Nectopsyche	1	1	2	1,33
			Hydrobiosidae	Atopsyche	6	1	2	3,00
		Ephemeroptera	Euthyplociidae	Euthyplocia	2	1	3	2,00
			Baetidae	Baetodes	4	1	11	5,33
				Baetis	20	13	13	15,33
		Neuroptera	Corydalidae	Corydalus	7	4	4	5,00
		Coleoptera	Psphenidae	Psephenops	2	1	4	2,33
		Annelida	Oligochaeta		1	1	3	1,67
		Gastropoda	Physidae	Physa	8	4	5	5,67
		Hemiptera	Naucoridae	pelocoris	3	1	3	2,33
			Belostomatidae	Lethocerus	5	1	2	2,67
			Velidae	Microvelia sp2	4	3	7	4,67
			Gerridae	Trepobates, Trepidus	12	12	7	10,33
				Tropobatus	3	5	1	3,00
				Eurygerris Kahli	14	11	10	11,67
		Saldidae	Micracanthia Humilus	6	5	4	5,00	
		Odonata	Calopterygidae	Hetaerina	3	3	1	2,33
Coenagrionidae	Argia		7	6	5	6,00		

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

		Coenagrionidae	Telebasis	9	8	7	8,00
		Gomphidae	Progomphus sp2	7	1	2	3,33
<b>Total Individuos</b>				155	93	113	120,33

### 7.2.1 Índices biológicos de la Zona Media

➤ De acuerdo al índice BMWP la calidad del agua en la zona media es buena, indicando aguas no contaminadas (ver tabla 11), encontrando familias como Gomphidae, Psephenidae, con un puntaje de 10 de cada una, y Physidae con un puntaje de 3 para esta zona.

Tabla 11 Índice BMWP para la zona media

<b>Índice BMWP/Col Zona Media</b>	
<b>Familia</b>	<b>Puntaje de Tolerancia</b>
Baetidae	7
Euthyplociidae	9
Calopterygidae	7
Gomphidae	10
Naucoridae	7
Guerridae	8
Saldidae	8
Velidae	8
Belostomatidae	5
Corydalidae	6
Physidae	3
Helicopsychidae	8
Leptoseridae	8
Hydrobiosidae	9
Psephenidae	10
Coenagrionidae	7
<b>Total Puntaje BMWP/Col</b>	<b>120</b>
<b>CALIDAD</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>Buena</b>	<b>Aguas no contaminadas</b>

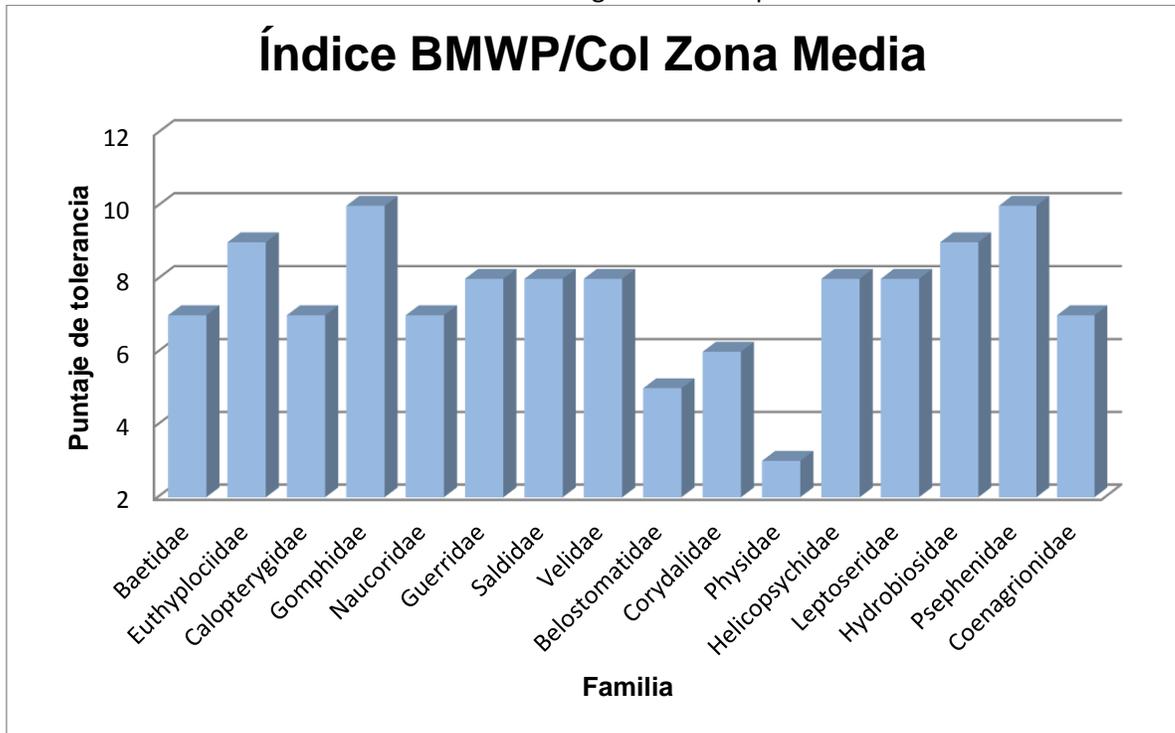


Figura 18 Familias y puntajes para el índice BMWP/Col Zona

➤ En el índice EPT se obtuvo como resultado un total de 38.50% y se encuentra en el intervalo 25%-49%, lo que indica una agua de calidad de agua Regular. En esta zona no se encontraron individuos del orden Plecóptera, solo se trabajaron con los órdenes Trichoptera y Ephemeroptera.

Tabla 12 Índice EPT para la zona media

Índice EPT Zona Media			
Orden	Familia	Género	Individuos
Trichoptera	Helicopsychidae	Helicopsyche	2,67
	Leptoceridae	Oecetis avara	5
		Grumichella	10
		Atanatolica sp	1,67
		Nectopsyche	1,33
	Hydrobiosidae	Atopsyche	3
Ephemeroptera	Euthyplociidae	Euthyplocia	2
	Baetidae	Baetodes	5,33
		Baetis	15,33

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

<b>Total EPT</b>	46,33
<b>EPT Total/Abundancia Total</b>	<b>38,50 Regular</b>

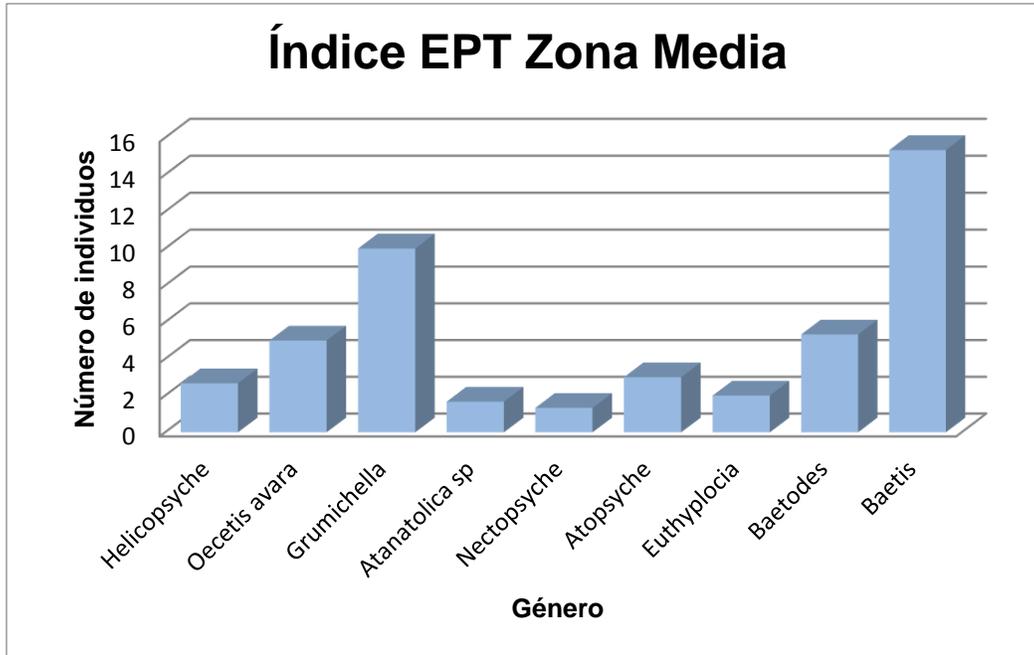


Figura 19 Género y número de individuos para el puntaje EPT Zona

➤ De acuerdo con el valor obtenido para el índice de sensibilidad, se puede decir que el agua de la cuenca El Tabor en su parte media es de calidad mala lo cual indica que esta tiene cierto grado de contaminación.

Tabla 13 Índice de sensibilidad para la Zona Media

Índice de Sensibilidad			
Orden	Familia	Presencia	Sensibilidad
Ephemeroptera	Baetidae	7	7
Hemiptera	Naucoridae	7	7
Neuroptera	Corydalidae	6	6
Coleoptera	Psphenidae	10	10
<b>Sensibilidad total</b>			<b>30 Mala</b>

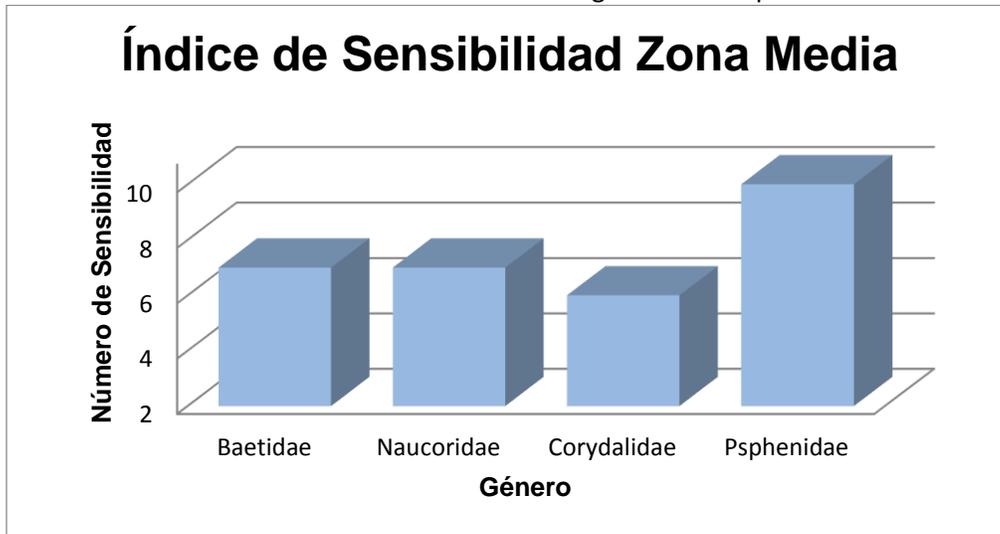


Figura 20 Género y número de sensibilidad para la Zona Media

### 7.3 Resultados obtenidos en la caracterización de la Zona Baja

En el muestreo de macroinvertebrados realizado para esta zona se encontraron 7 órdenes, 13 familias, 15 géneros, para un total de 175 individuos recolectados en el primer muestreo, 174 en el segundo muestreo y 195 en el tercer muestreo (Ver tabla 14).

Referente a las familias, la Veliidae presenta mayor abundancia de individuos con 86, seguido de Helicopsychidae con 20 individuos y Leptoceridae con 19 individuos. Las familias con menor abundancia de individuos fue Neuroptera con 2 individuos colectados.

Tabla 14 Macroinvertebrados recolectados en la Zona Baja

		Macroinvertebrados Recolectados en la Zona Baja						
Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Individuos Muestreo 1	Individuos Muestreo 2	Individuos Muestreo 3	Promedio
Artrópoda	Insecta	Hemiptera	Gerridae	Brachymetra	5	5	7	5,67
			Gerromorpha Veliidae	Rhagovelia	93	75	89	85,67
			Naucoridae	Heleocoris spinipes	1	1	3	1,67
		Odonata	Calopterygidae	Hetaerina	1	8	6	5,00
			Anisoptera Libellulidae	“Libelulido”	1	2	5	2,67
		Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	1	6	5	4,00
		Trichoptera	Helicopsychidae	Helicopsyche	36	31	42	36,33
			Leptoceridae	Triplectides	1	3	3	2,33
				Oecetis Mac Lachian	9	11	7	9,00
				Grumichella	8	10	5	7,67
			Calamoceratidae	Phylloicus	2	2	2	2,00
			Polycentropodidae	Polypsectopus	3	4	3	3,33
		Gastropoda	Planorbidae	Gyraulus	1	3	3	2,33
		Tricladida	Planariidae	Dugesia	11	10	14	11,67
Neuroptera (Megaloptera)	Corydalidae	Corydalus	2	3	1	2,00		
<b>Total Individuos</b>					175	174	195	181,33

### 7.3.1 Índices Biológicos de la Zona Baja

➤ El valor obtenido del índice BMWP para esta zona fue de 86, es decir un agua de calidad aceptable, aguas ligeramente contaminadas, encontrando familias como Perlidae y Calamoceratidae con puntajes de 10 cada una y familias como Calopterygidae y Anisoptera con puntajes de 1 cada una.

Tabla 15 Índice BMWP/Col para la Zona Baja

Índice BMWP/Col Zona Baja	
Familia	Puntaje de Tolerancia
Gerridae	8
Gerromorpha Veliidae	8
Naucoridae	7
Calopterygidae	1
Anisoptera Libellulidae	1
Perlidae	10
Helicopsychidae	8
Leptoceridae	8
Calamoceratidae	10
Polycentropodidae	7
Planorbidae	5
Planariidae	7
Corydalidae	6
<b>Total Puntaje BMWP/Col</b>	<b>86</b>
<b>CALIDAD</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>Aceptable</b>	<b>Aguas ligeramente contaminadas</b>

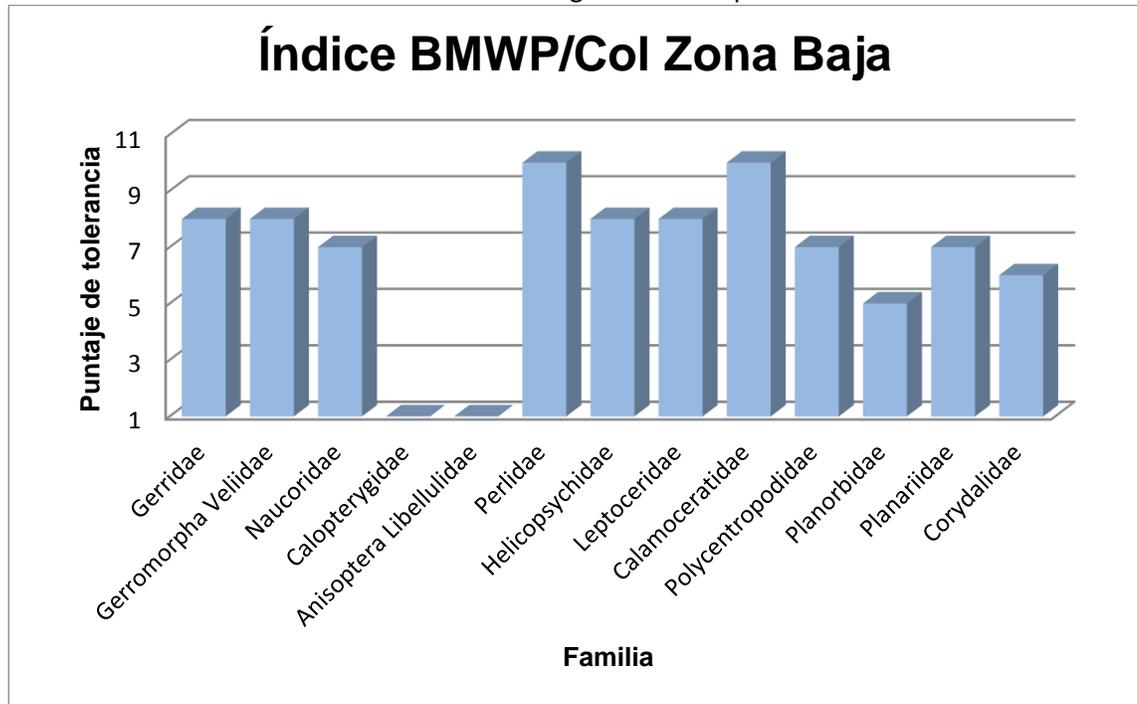


Figura 21 Familia y Puntaje BMWP para la Zona Baja

➤ El resultado del índice EPT para la zona baja es de 39,22%, lo que indica un agua de calidad regular, no se encontraron individuos del orden Ephemeroptera en el muestreo realizado, por lo cual el índice se elaboró con los órdenes Plecoptera y Trichoptera.

Tabla 16 Índice EPT para la Zona Baja

Índice EPT Zona Baja			
Orden	Familia	Género	Individuos
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	4
Trichoptera	Helicopsychidae	Helicopsyche	36,33
		Triplectides	2,33
	Leptoceridae	Oecetis Mac Lachian	9
		Grumichella	7,67
	Calamoceratidae	Phylloicus	2
	Polycentropodidae	Polypsectropus	3,33
<b>Total ETP</b>			<b>64,66</b>
<b>ETP Total/Abundancia Total</b>			<b>39,22</b>

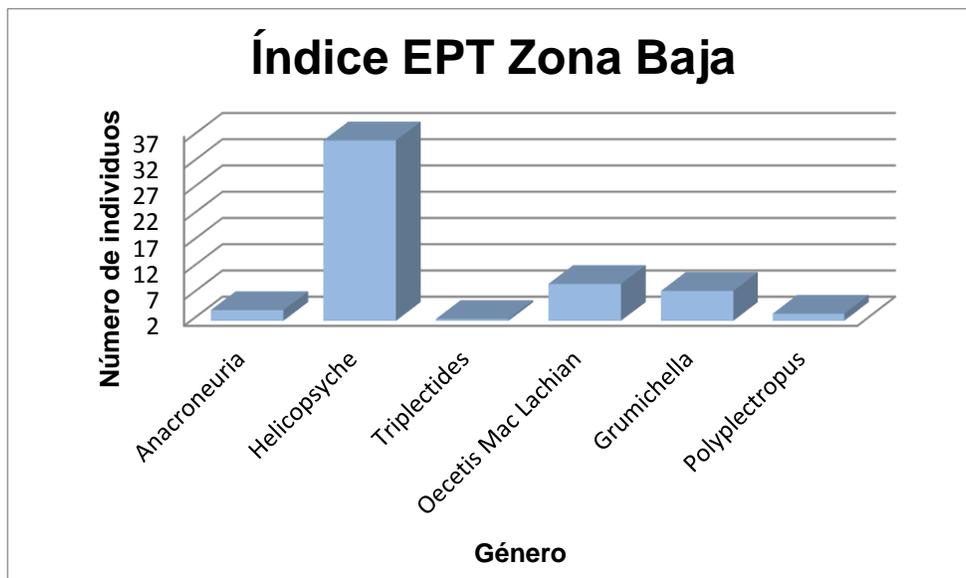


Figura 22 Género y número de individuos para el Índice EPT Zona Baja

➤ El valor del índice de sensibilidad obtenido fue de 30 lo que indica un agua de mala calidad. En el muestreo realizado solo se encontraron 4 familias a las que se les asignaron los puntajes de sensibilidad.

Tabla 17 Índice de Sensibilidad para la Zona Baja

Índice de Sensibilidad			
Orden	Familia	Presencia	Sensibilidad
Ephemeroptera	Baetidae	7	7
Hemiptera	Naucoridae	7	7
Neuroptera	Corydalidae	6	6
Coleoptera	Psphenidae	10	10
<b>Sensibilidad total</b>			<b>30</b> <b>Mala</b>

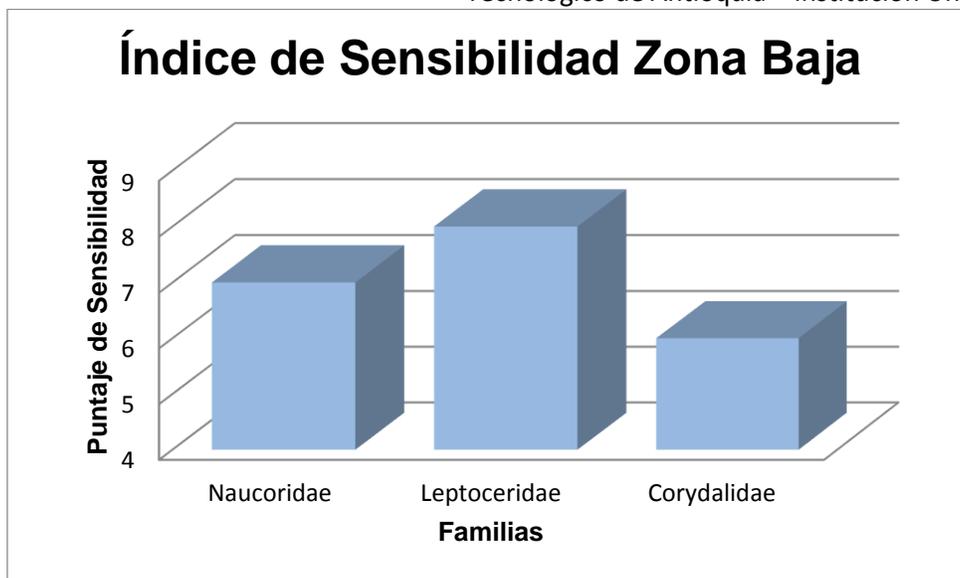


Figura 23 Familias y puntaje de sensibilidad Zona Baja

#### 7.4 Comparación entre los índices y las zonas de muestreo

Referente al índice BMWP, éste toma un comportamiento similar en las tres zonas de muestreo realizadas, el cual va de aguas limpias a ligeramente contaminadas (Ver tabla 18).

Dicha similitud entre los resultados en las zonas de muestreo se puede deber a que este índice BMWP puede sobreestimar los datos de calidad de agua según las familias presentes y los requisitos del mismo índice a pesar de ser un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua en su aplicación, ya que sólo se requiere llegar hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos, es decir, da información de la presencia o ausencia de los organismos y al basarse solamente en el nivel sistemático de familia, se pueden presentar casos donde existen géneros dentro de una misma familia con un valor de indicación diferente, debido a que tienen representantes tanto de aguas limpias como de aguas con algún grado de contaminación y se les asigna el mismo valor de la familia.

Con relación al índice EPT, se presenta una diferencia en el resultado de la zona alta con respecto a las otras dos zonas, dando como resultado aguas de mala (zona alta) y regular calidad (zona media y baja). Esto se debe a los pocos individuos

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera encontrados en los muestreos.

Este índice evalúa los órdenes de macroinvertebrados más sensibles a la contaminación y las alteraciones del hábitat, de esta manera se tiene que la calidad del agua en el sitio de muestreo para la zona alta es mala, este sitio está ubicado antes de la captación de agua para el abastecimiento del municipio y el resultado de la calidad puede deberse a que se está presentado alguna perturbación del ecosistema aguas arriba o contaminación de origen no puntual y que no fue percibida el día que se realizó el muestreo como por ejemplo actividades de uso recreativo dado el potencial turístico y paisajístico, otra razón podría ser el bajo porcentaje de oxígeno encontrado, ya que en la zona media y baja se encuentra una serie de cascadas lo que hace que la oxigenación del agua aumente, y los individuos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son muy sensibles a las bajas concentraciones de oxígeno, además pudieron haber existido fallas humanas en los métodos de recolección, el tipo de sustrato analizado y la época en la que se realizó el muestreo.

Para el sitio de muestreo en la zona media se encontró que la calidad del agua es regular, en el muestreo realizado de macroinvertebrados en esta zona no se encontraron individuos del orden Plecóptera; esto puede deberse a los métodos de recolección empleados, ya que estos organismos habitan en el fondo de los cauces de agua. Esto indica además que el asentamiento urbano que está situado cerca al sitio de muestreo está desarrollando actividades que están afectando la calidad del agua y alterando el hábitat de los organismos macroinvertebrados.

Para la zona baja el resultado obtenido fue también un agua de calidad regular, el índice se realizó sin individuos del orden Ephemeroptera, una razón para esto es que los adultos de este orden tienen un periodo de vida muy corto, llegando a vivir pocas horas o incluso minutos y las larvas no fueron percibidas en la identificación. Este resultado demuestra que el turismo realizado en la zona puede estar afectando la calidad del agua.

En cuanto al índice de sensibilidad se observa una calidad buena para la zona alta y calidad mala para la zona media y baja, este resultado se debe a que este índice es muy limitante en cuanto al número de familias en las que asignarles el valor y durante el muestreo realizado se encontraron muy pocos individuos a los que asignarles un puntaje de sensibilidad.

El comportamiento entre los índices BMWP/Col y sensibilidad es muy similar en los tres sitios de muestreo, donde indica que la calidad del agua es buena en la zona alta y disminuye en la zona media y baja. Este comportamiento difiere de los resultados obtenidos en el índice EPT, en donde la zona alta es calidad mala y la zona media y baja es de calidad regular.

**Tabla 18 Comparación entre los índices y las zonas**

<b>Comparación entre los valores de los índices y las zonas de muestreo</b>			
<b>Zona de Muestreo</b>	<b>Índice BMWP/Col</b>	<b>Índice EPT</b>	<b>Índice de sensibilidad</b>
<b>Alta</b>	132 Calidad buena	13,97 Calidad mala	76 Calidad buena
<b>Media</b>	120 Calidad buena	38.50 Calidad regular	30 Calidad mala
<b>Baja</b>	86 Calidad aceptable	39,22 Calidad regular	30 Calidad mala

Fuente: Propia

## 7.5 Datos Físicoquímicos tomados en campo

Tabla 19 Parámetros físicoquímicos tomados en campo

<b>PARAMETRO</b>	<b>Zona Alta</b>	<b>Zona Media</b>	<b>Zona Baja</b>
------------------	------------------	-------------------	------------------

<b>Temperatura del agua (°C)</b>	23,2	23,4	24.8
<b>pH (unidades de pH)</b>	7,32	7,30	8,47
<b>Altitud (msnm)</b>	1400	1200	1000
<b>% oxígeno disuelto</b>	96,4	124,6	98,2
<b>Conductividad (µs/cm)</b>	39.6	39,2	29.6
<b>Coordenadas</b>	N: 06° 19' 80.45" O: 075° 00' 42.06"	N: 06° 11' 42,8" O: 075° 00' 18,6"	N: 06° 11' 4.9" O: 075° 00' 2,6"

Fuente: Propia

Los valores de la temperatura encontrados en la microcuenca El Tabor, concuerdan con el rango de la temperatura media que esta entre 23°C y 25°C del municipio de San Carlos, el valor más alto es el de la zona baja por lo que es aledaña a la cabecera municipal y allí se presenta la mayor temperatura.

Los valores de pH encontrados en la microcuenca El Tabor, varían entre 7,30 y 8,47 unidades de pH, indican una buena calidad del agua, según el manual teórico sobre aspectos fisicoquímicos de calidad del agua, agua natural debe estar entre 6,5 y 8,5 unidades de pH lo que puede indicar que es un agua no contaminada y que incluso es un referente normativo en varios países para verificar agua potable, sin embargo si los valores son menores o superiores a este valor no soportan vida vegetal ni especies animales (Barrenechea). El valor más alto se encontró en la zona baja con un valor de 8,47 unidades de pH.

Los valores del Porcentaje de Saturación del Oxígeno Disuelto encontrados en las tres zonas de muestreo se encuentran en el rango de 80 a 120%, es decir que son excelentes para soportar la vida vegetal y animal; los valores menores al 60% o superiores a 125% se consideran malos. El Porcentaje de Saturación del Oxígeno Disuelto depende de la temperatura del agua y la elevación del sitio donde se toma la muestra de agua. El porcentaje más alto se encontró en la zona media con un valor de 124,6, por lo que esta zona posee una topografía montañosa y

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria además una serie de cascadas lo que hace que el agua tenga más oxigenación, encontrándose en los límites superiores que se consideran malos para el desarrollo de la vegetación y los animales acuáticos.

Los valores de conductividad encontrados en las tres zonas de muestreo se encuentran en el rango entre 10 y 50  $\mu\text{S}$ , el valor más bajo se encontró en la zona baja con un valor de 29,6 lo que indica que hay mayor presencia de especies, sin embargo en los ecosistemas acuáticos de alta montaña, a medida que aumenta la conductividad disminuye la diversidad de especies.

### 7.5.1 Caudal

En la medición del caudal de las tres zonas de muestreo se recopiló toda la información y se procedió hacer un promedio, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 20 Caudal promedio de las tres zonas de muestreo.

Caudal promedio $\text{m}^3/\text{s}$			
Zona	Área promedio	Velocidad promedio	Caudal promedio
Alta	0,85	0,254	0,215
Media	1,205	0,293	0,354
Baja	1,897	0,239	0,454

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

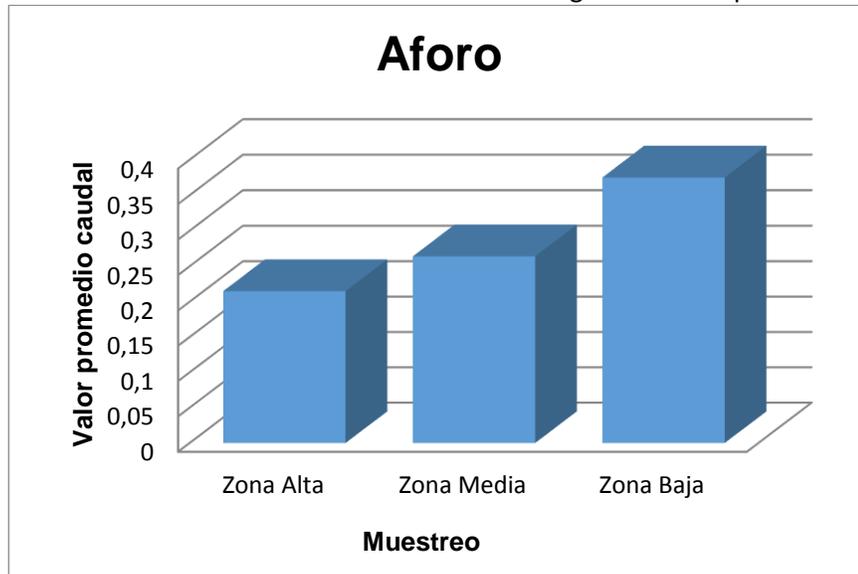


Figura 24 Resultado del caudal de las zonas alta, media y baja de la Quebrada El Tabor.

En la figura anterior se observa el crecimiento del caudal que tiene la microcuenca El Tabor, lo que lleva a que esta se encuentra en una topografía montañosa y con una alta pendiente incluyendo una serie de cascadas, sin embargo en la zona baja se muestra mayor caudal por lo que allí se presenta la actividad recreativa y por ende afecta la calidad del agua.

## **8 CONCLUSIONES**

Según los datos obtenidos al calcular el índice BMWP/Col, se encontró que la calidad del agua en el sitio de muestreo de la zona Alta y Media es Buena y para el sitio de muestreo en la zona baja es Aceptable.

El índice ETP evalúa los órdenes de macroinvertebrados más sensibles a la contaminación y las alteraciones del hábitat, por ende, la calidad del agua en el punto de muestreo en la zona alta es mala y en la zona media y baja es regular.

El resultado del índice de sensibilidad arrojó una calidad de agua buena para el sitio de muestro en la zona alta y calidad mala para las zonas media y baja; este índice no ha sido muy estudiado y el soporte bibliográfico es muy escaso, por lo que los resultados obtenidos pueden estar sobrestimados.

Los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, el pH y el porcentaje de oxígeno disuelto, obtenidos en los sitios de muestreo se encontraron dentro de los rangos apropiados para la supervivencia de los organismos macroinvertebrados.

La calidad del agua que es captada para el abastecimiento del municipio es de calidad mala según los resultados del índice EPT, y buena según los índices BMWP/Col y sensibilidad, por lo cual es necesario complementar este estudio con más información.

Con los resultados de esta investigación se demuestra que el asentamiento urbano, el turismo y la actividad ganadera de los sectores aledaños a la quebrada, están afectando la calidad del agua de la Quebrada la El tabor, poniendo en riesgo la salud de las personas y alterando la presencia de macroinvertebrados acuáticos.

## **9 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Se recomienda complementar los análisis fisicoquímicos realizados para la caracterización del agua, con el empleo de índices biológicos, ya que por medio de las comunidades acuáticas se puede constatar los cambios en todo el ecosistema durante determinados periodos de tiempo.

Prolongar el estudio de la calidad del agua de la quebrada El Tabor mediante uso de índices biológicos acompañados con índices físico químicos de manera continua para conocer mejor la variación de la calidad del agua en el transcurso del tiempo.

Promover el uso de la metodología de índices biológicos en las demás fuentes hídricas que vierten sus aguas a la cuenca el Tabor como lo son Chorro de oro, La Culebra, La Inmaculada y La Retirada, para enriquecer el listado de familias y géneros de la región y así conocer mejor los valores de tolerancia y sensibilidad a diferentes niveles de contaminación.

Se recomienda implementar un programa de monitoreo donde se aplique esta metodología debido a su simplicidad, el ahorro técnico y su bajo costo, además que este método, permite comparar estaciones de monitoreo incluso microcuencas hidrográficas con relación al uso del suelo y el uso del agua para la recreación.

Teniendo en cuenta que en este estudio sólo se da una idea general de la calidad del agua, se recomienda implementar un programa de monitoreo que incluya mediciones en las diferentes condiciones climáticas que se presentan en la Microcuenca incluyendo el análisis de todas las variables consideradas por la normatividad ambiental, con el fin de establecer si su uso para abastecimiento de agua para consumo humano en los diferentes puntos de muestreo es apto o para recomendar otros posibles usos.

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

## **10 RECONOCIMIENTOS**

Agradecemos la colaboración por apoyarnos con los equipos e información suministrada en este trabajo de grado:

Al Ingeniero Ambiental, Sergio Augusto Upegüi Sosa

Al Ingeniero Ambiental, Jorge López Arango

Y a la Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia

## 11 REFERENCIAS

- Abramovich, B. B., & al., e. (s.f.). *Demanda Química de Oxígeno*. Recuperado el 18 de 10 de 2016, de [http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos\\_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaQuimicadeOxigeno.pdf](http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaQuimicadeOxigeno.pdf)
- Abramovich, B. B., Gilli, B. C., Eliggi, L. M., & Zerbato, L. M. (s.f.). *Demanda Química de Oxígeno*. Recuperado el 18 de 10 de 2016, de [http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos\\_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaQuimicadeOxigeno.pdf](http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaQuimicadeOxigeno.pdf)
- Alcaldía Municipal, San Carlos, Antioquia. (2015). *Plan de Desarrollo de San Carlos Antioquia*. Recuperado el 25 de 10 de 2016, de Alcaldía Municipal, San Carlos, Antioquia: [http://sancarlos-antioquia.gov.co/apc-aa-files/30346133613031386462626461626438/plan\\_de\\_desarrollo\\_\\_unidos\\_construyendo\\_el\\_san\\_carlos\\_que\\_queremos.pdf](http://sancarlos-antioquia.gov.co/apc-aa-files/30346133613031386462626461626438/plan_de_desarrollo__unidos_construyendo_el_san_carlos_que_queremos.pdf)
- Arango, L. F. (2005). *Instituto de Investigacion de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua : <file:///C:/Users/user/Downloads/05-0424PS.pdf>
- Barrenechea, A. Q. (s.f.). *pH, Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. Recuperado el 2016 de 11 de 21, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/uno.pdf>
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo, los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua*. Quito, Ecuador: Editorial Rimana.
- Carrión, S. M., & Rivera, L. P. (Diciembre de 2007). *Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2016, de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/524/1/IAD-2007-T001.pdf>
- Cornare. (2006). *Plan de Ordenamiento de Manejo Integral de la cuenca el Tabor, en el Municipio de San Carlos Antioquia* . Recuperado el 25 de Octubre de 2016, de <http://www.cornare.gov.co/POMCAS/Documentos/El-Tabor.pdf>
- Cortolima, C. S. (2003). *Macroinvertebrados Acuáticos*. Recuperado el 07 de 08 de 2016, de Plan de Ordenamiento y manejo de la Cuenca Coello.: [http://www.cortolima.gov.co/2006/images/stories/centro\\_documentos/coello/2\\_10\\_BIODIVERSIDAD.pdf](http://www.cortolima.gov.co/2006/images/stories/centro_documentos/coello/2_10_BIODIVERSIDAD.pdf)
- Cotes, A., Fonseca, M., & Sanabria, A. (2010). *Mecanismos e Instrumentos para el monitoreo de la calidad del agua*. Recuperado el 07 de 08 de 2016, de [https://cmsdata.iucn.org/downloads/3\\_6\\_fasciculo\\_5\\_\\_\\_monitoreo\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_agua.pdf](https://cmsdata.iucn.org/downloads/3_6_fasciculo_5___monitoreo_de_la_calidad_de_agua.pdf)

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Deimar, F., & Francisco, D. H. (2014). *Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de índices bióticos en el río San Andrés*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de Revista Scielo :

[http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2305-60102014000200002&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2305-60102014000200002&script=sci_arttext)

*Dureza del agua: whitman.edu*. (s.f.). Recuperado el 18 de 10 de 2016, de Whitman.edu:

[https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns\\_software/DurezaDelAgua.pdf](https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns_software/DurezaDelAgua.pdf)

Figuroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O. (2013). *Macroinvertebrados béntonicos como indicadores de calidad de agua de rios del sur de Chile*. Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de Revista Scielo:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-078X2003000200012](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2003000200012)

Galindo-Leva, L. Á., & al., e. (2012). Evaluación de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua en quebradas de fincas cafeteras de Cundinamarca y Santander, Colombia. *Cenicafé*, 70-92.

Landívar, U. R. (2006). *Calidad del agua*. Recuperado el 22 de 10 de 2016, de Instituto de Agricultura, Recursos naturales y Ambiente (IARNA):

[http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3\\_Calidad\\_del\\_agua.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3_Calidad_del_agua.pdf)

Martel, A. B. (s.f.). *ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA*. Recuperado el 06 de 08 de 2016, de

<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual1/tomol/uno.pdf>

Mejía, M. (2005). *Centro Agronomico Topical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*. Recuperado el 22 de 10 de 2016, de Análisis de la calidad del agua para consumo humano:

<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0602e/A0602e.pdf>

Meza-S, A. M., Rubio-M, J., G-Dia, L., & M-Walteros, J. (2012). *CALIDAD DE AGUA Y COMPOSICIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO CHINCHINÁ*. Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v34n2/v34n2a13.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (25 de 10 de 2010). *Decreto 3930*. Recuperado el 25 de 10 de 2016, de Alcaldia de Bogotá, Normatividad:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

ONU. (2014). *Calidad del agua*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

ONU. (2016). *Naciones Unidas*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de [http://www.un.org/es/events/waterday/wwd\\_waterquality.shtml](http://www.un.org/es/events/waterday/wwd_waterquality.shtml)

ONU. (2016). *UN Water*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de [http://www.un.org/es/events/waterday/wwd\\_waterquality.shtml](http://www.un.org/es/events/waterday/wwd_waterquality.shtml)

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

*Parametros Fisico-quimicos, pH:uprm.edu.* (s.f.). Recuperado el 18 de 10 de 2016, de uprm.edu: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-ph.pdf>

Paredes, C., Iannacone, J., & Alvariño, L. (s.f.). *Uso de macroinvertebrados bentonicos como bioindicadores de la calidad de agua en el rio Rimac, Lima-Callao, Peru.* Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-04882005000200019](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882005000200019)

Paredes, M. J. (2013). *Importancia del agua.* Recuperado el 22 de 10 de 2016, de Universidad de San Martín de Porres: <http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>

Pérez, G. R. (1988). Familia Coleoptera. En G. R. Pérez, *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* (págs. 116-118). Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

Pérez, G. R. (1988). Familia Ephemeroptera. En G. R. Pérez, *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* (pág. 20). Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

Pérez, G. R. (1988). Familia Odonata. En G. R. Pérez, *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* (pág. 39). Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

Pérez, G. R. (1988). Familia Plecoptera. En G. R. Pérez, *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia* (pág. 78). Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

Pérez, G. R. (1988). Familia Trichoptera. En G. R. Pérez, *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* (pág. 145). Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (s.f.). *LOS MACROINVERTEBRADOS COMO INDICADORES DE CALIDAD DE LAS AGUAS.* Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de <http://www.ub.edu/fem/docs/caps/2009%20MacroIndLatinAmcompag0908.pdf>

Roldán Pérez, G. A. (2003). Físicoquímica de los ecosistemas acuáticos. En G. A. Roldán Pérez, *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia* (págs. 1-9). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

Roldán, G. (1988). Familia Trichoptera. En G. R. Pérez, *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* (pág. 145). Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del Método BMWP/Col.* Medellín, Ccolombia: Editorial Universidad de Antioquia.

Santambrosio, I. E., & al., e. (s.f.). *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*. Recuperado el 18 de 10 de 2016, de Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rosario.:  
[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5\\_anio/bioteconologia/DBO.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/bioteconologia/DBO.pdf)

Santambrosio, I. E., Ortega, I. M., & Garibaldi, I. P. (s.f.). *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*. Recuperado el 18 de 10 de 2016, de Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rosario.:  
[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5\\_anio/bioteconologia/DBO.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/bioteconologia/DBO.pdf)

Unwater. (2010). *Calidad del Agua*. Recuperado el 22 de 10 de 2016, de [http://www.unwater.org/wwd10/downloads/WWD2010\\_LOWRES\\_BROCHURE\\_ES.pdf](http://www.unwater.org/wwd10/downloads/WWD2010_LOWRES_BROCHURE_ES.pdf)

Uribe, B., & Santos, J. M. (25 de 10 de 2010). *Decreto 3930*. Recuperado el 25 de 10 de 2016, de Alcaldía de Bogotá, Normatividad:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

Vazquez, G., & al., e. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar. *Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-X*, 41-48.

Anexo 1 Formato de Campo

**FORMATO DE CAMPO**

**Datos Generales Del Sitio De Muestreo De Macroinvertebrados**  
**Institución Universitaria Tecnológico De Antioquia**

Localidad Quebrada El Tabor, San Carlos.

Coordenadas N: 06° 12' 2.97" W: 75° 00' 20.26"

Sitio de muestreo No. Zona Alta.

Fecha 03-October-2016 Tiempo de muestreo 30 minutos

Técnica de muestreo:  
Recolección mediante Red de Pantalla

1. Precipitación durante el muestreo: Si  No

2. Precipitación 24 horas antes del muestreo: Si  No

3. Cobertura boscosa: Buena sombra  Poca sombra  Sin sombra

4. Apariencia del cuerpo de agua: Transparente  Turbia   
Otros

5. Actividades de la zona de muestreo:  
Agricultura  Ganadería  Minería  Otros

6. Vertimientos: Si  No

7. Población cercana: Si  No

8. Otras observaciones

---

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

Anexo 2 Evidencia Fotográfica de los principales macroinvertebrados encontrados en la identificación y clasificación.



**Orden:** Trichoptera

**Familia:** CALAMOCERATIDAE

**Género:** *Phylloicus* – Müller 1880.

*Phylloicus* sp

**Hábitat**

Aguas corrientes frías, bien oxigenadas, con mucho material vegetal. Indicadores: aguas oligotróficas.



**Orden:** Plecoptera

**Familia:** PERLIDAE

**Género:** *Anacroneuria sp.*

**Hábitat**

Las ninfas de los plecópteros viven en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas. Son especialmente abundantes en riachuelos y arroyos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de 1000 y 2000 m de altura. Son, por lo tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas.



**Orden:** Ephemeroptera

**Familia:** LEPTOPHLEBIIDAE

**Género:** *Thraulodes*-Ulmer 1920  
b. *Thraulodes* sp

**Hábitat**

Aguas rápidas, debajo de piedras troncos, hojas. Indicadores de aguas limpias o ligeramente contaminadas.



<p><b>Orden:</b> Diptera</p> <p><b>Familia:</b> ORTORRAPHA-NEMATOCERA TIPULIDAE</p> <p><b>Género:</b> <i>Hexatoma</i>-Latreille 1809. <i>Hexatoma (Eriocera)</i> sp</p>	<p><b>Hábitat</b></p> <p>Aguas loticas, en márgenes arenosos de arroyos. Indicadores: aguas mesotróficas-eutróficas.</p>
---	--



<p><b>Orden:</b> Hemiptera</p> <p><b>Familia:</b> GERROMORPHA VELIIDAE</p> <p><b>Género:</b> <i>Microvelia</i>- Westwood 1834. <i>Microvelia</i> sp.</p>	<p><b>Hábitat</b></p> <p>La mayoría prefieren lugares con vegetación emergente..</p>
--	--



**Orden:** Coleoptera

**Familia:**

PSEPHENIDAE

**Género:**

*Psephenops*- Grouvelle 1898.

*Psephenops* sp.

**Hábitat**

En ecosistemas loticos de corriente moderada.

Larvas sobre rocas, grava y arena. Por lo general son comedores de limo y algas.



**Orden:** Tricladida

**Familia:** TURBELLARIA,  
PLANARIIDAE

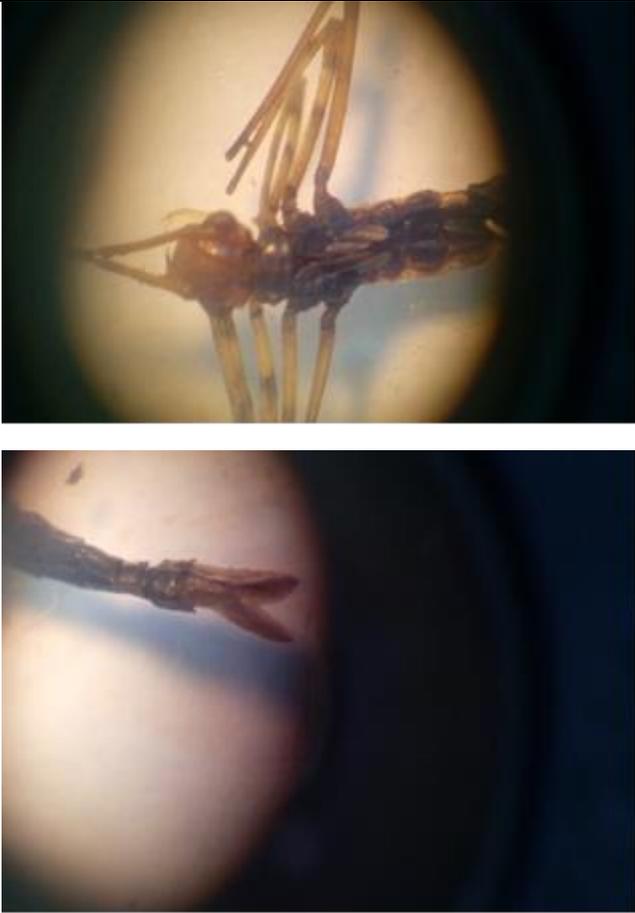
**Género:** *Dugesia*

**Hábitat**

Los tricladidos viven en su mayoría debajo de las piedras, troncos, ramas, hojas y sustratos similares, en aguas poco profundas, tanto corrientes como estancadas. la mayoría viven aguas bien oxigenadas, pero algunas especies pueden resistir cierto grado de contaminación. los tricladidos son fuentes de alimento para ninfas de odonatos y otros insectos acuáticos, nemátodos, anélidos y algunos crustáceos. .

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

	
<p><b>Orden:</b> Odonata</p> <p><b>Familia:</b> Calopterygidae</p> <p><b>Especie:</b> Hetaerina</p>	<p><b>hábitat:</b></p> <p>viven en ambientes loticos sobre desechos, plantas y rocas. Indicadores de aguas oligomesotróficas</p>

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria



**Orden:** Neuroptera ó  
Megaloptera

**Familia:** Corydalidae

**Especie:** Corydalus

**Hábitat:**  
Habitan en la parte rápida del flujo de la corriente y es primordial un fondo rocoso

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria

### Anexo 3 Evidencia fotografica

 <p>Zona media Quebrada El Tabor</p>	 <p>Zona alta quebrada El Tabor</p>
 <p>Identificación en el laboratorio de criminalista del TdeA</p>	 <p>Identificación en el laboratorio</p>

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.

Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria



Medición de parámetros fisicoquímicos



Medición de parámetros fisicoquímicos

Anexo 4. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	Mes 1				Mes 2				Mes 3			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Revisión Bibliográfica	x	x										
Gestión de Equipos	x	x										
Compra de Materiales	x	X										
Realización de la Redes			x									
Recolección de Macroinvertebrados, Parte Alta				X								
Identificación de Macroinvertebrados, Parte Alta					X							
Realización Índices de Calidad del Agua					X							
Recolección de Macroinvertebrados, Parte Media						X						
Identificación de Macroinvertebrados, Parte Media							X					
Realización Índices de Calidad del Agua							X					
Recolección de Macroinvertebrados, Parte Baja								X				
Identificación de Macroinvertebrados, Parte Baja									X			
Realización Índices de Calidad del Agua									X			
Comparativo de los tres índices de calidad del agua										X		
Análisis del comparativo											X	
Entrega Final												X

Análisis comparativo de la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la parte alta, media y baja de la quebrada El Tabor en el municipio de San Carlos – Antioquia.  
Tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria