

**EFFECTO DE LA CONSTRUCCION DE LA PEQUEÑA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA PATICO- LA CABRERA SOBRE LA CALIDAD  
BIOLÓGICA DEL RIO CAUCA**

**NHORA ALEJANDRA MUÑOZ MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
POPAYAN  
2004**

**EFFECTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PEQUEÑA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA PATICO- LA CABRERA SOBRE LA CALIDAD  
BIOLÓGICA DEL RIO CAUCA**

**NHORA ALEJANDRA MUÑOZ MUÑOZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título  
de Bióloga**

**Director:  
Mg. HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ**

**Asesor:  
Mg. GUILLERMO LEON VASQUEZ  
Biol. MARCELA JANETH SERNA ZAMORA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
POPAYAN  
2004**

**Nota de aceptación**

---

---

**Director**

---

**Mg. HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ**

**Jurado**

---

**Phd. APOLINAR FIGUEROA CASAS**

**Jurado**

---

**Mg. ANTONIO JOSE VALVERDE P.**

**Fecha de sustentación: Popayán, 25 de Agosto de 2004**

**A Dios  
Por el don de la VIDA  
A mi familia  
Por el valor del AMOR  
A mis amigos  
Por el valor de la AMISTAD**

## AGRADECIMIENTOS

- ❖ A **Dios**, por darme la paciencia necesaria para la elaboración de este trabajo y todo lo que hasta hoy he logrado.
  
- ❖ A **Hildier Zamora González**, Magíster en Ecología y Director del trabajo, por su colaboración en la realización de éste proyecto.
  
- ❖ A **Guillermo León Vásquez**, Magíster en Piscicultura y asesor del trabajo, por su orientación en el análisis de los parámetros fisicoquímicos.
  
- ❖ A **Marcela Serna**, Bióloga y Asesora del trabajo, por su valiosa colaboración y constante motivación.
  
- ❖ A **Antonio Valverde**, Magíster en Recursos Hidrobiológicos, jurado del trabajo por su grandiosa colaboración y enorme paciencia.
  
- ❖ A mis amigos, **Carlos Felipe Galvis**, **Juan Carlos Arteaga** y **Fabián Díaz**, por su gran colaboración durante la época de muestreos.
  
- ❖ A mis amigas **Maria Elena Campuzano** y **Marisol Martínez**, por hacer de mi carrera la mejor etapa de mi vida.
  
- ❖ A mi **familia** por su gran esfuerzo, constante apoyo durante mi carrera y sobre todo por el amor de hogar que me han inculcado.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	3
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	4
<b>4. MARCO TEÓRICO</b>	5
<b>4.1 CARACTERÍSTICAS MUNICIPIO DE PURACE</b>	5
4.1.1 Red hidrográfica	5
4.1.2 Geología	5
4.1.3 Clima	6
4.1.4 Precipitación	6
4.1.5 Humedad relativa (%)	7
4.1.6 Evaporación	7
4.1.7 Brillo solar (horas)	7
4.1.8 Bosque	8
<b>4.2 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PATICO</b>	8
<b>4.3 BIOINDICACIÓN</b>	9
4.3.1 Características ideales de un bioindicador	10

<b>4.4 ÍNDICES DE EVALUACIÓN</b>	12
4.4.1 Índice de diversidad de Shannon – Weaver	12
4.4.2 Índice de calidad BMWP	13
4.4.2.1 Procedimiento para calcular BMWP	13
4.4.3 Matriz de Influencias – Dependencias	16
<b>4.5 FISICOQUÍMICA DEL AGUA</b>	18
4.5.1 Temperatura	18
4.5.2 Oxígeno disuelto	19
4.5.3 Gas carbónico disuelto	19
4.5.4 pH	20
4.5.5 Alcalinidad	21
4.5.6 Conductividad	22
4.5.7 Sólidos totales disueltos	22
4.5.8 Salinidad	23
4.5.9 Dureza	23
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	25
<b>5.1 ESTACIONES DE MUESTREO</b>	26
5.1.1 Estación 1	26
5.1.2 Estación 2	28
5.1.3 Estación 3	30
<b>6. METODOLOGÍA</b>	31
<b>6.1 ANÁLISIS CALIDAD BIOLÓGICA</b>	31
6.1.1 Colecta de macroinvertebrados acuáticos	31

6.1.1.1 Captura	31
6.1.1.1.1 Método de flotación	33
6.1.1.1.2 Método manual	33
6.1.1.1.3 Sustrato artificial	34
6.1.1.2 Conservación	34
6.1.1.3 Identificación	34
6.1.2 Toma de parámetros fisicoquímicos	34
<b>7. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>36</b>
<b>7.1 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS</b>	<b>36</b>
7.1.1 Estación 1	36
7.1.2 Estación 2	38
7.1.3 Estación 3	39
<b>7.2 ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON –WEAVER</b>	<b>41</b>
7.2.1 Estación 1	42
7.1.3 Estación 3	43
<b>7.3 ÍNDICE DE CALIDAD BMWP</b>	<b>43</b>
7.3.1 Estación 1	44
7.3.3 Estación 3	44
<b>7.4 MATRIZ DE INFLUENCIA – DEPENDENCIA</b>	<b>45</b>
7.4.1 Cuadrante I	47
7.4.2 Cuadrante II	48
7.4.3 Cuadrante III	48
7.4.4 Cuadrante IV	49

<b>7.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA HÍDRICA</b>	50
7.5.1 Temperatura	50
7.5.1.1 Temperatura ambiente	50
7.5.1.2 Temperatura hídrica	50
7.5.2 Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno	51
7.5.3 Gas carbónico disuelto	53
7.5.4 pH	54
7.5.5 Conductividad	55
7.5.6 Acidez total	56
7.5.7 Alcalinidad total	56
7.5.8 Dureza total y Dureza carbonácea	56
7.5.9 Amonio, Nitritos y Nitratos	57
<b>8. CONCLUSIONES</b>	58
<b>9. RECOMENDACIONES</b>	62
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	64
<b>ANEXOS</b>	69

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Niveles de bioindicación de las familias de macroinvertebrados acuáticos y su respectiva puntuación, de acuerdo con la adaptación realizada para Colombia del Sistema para Determinación del Índice de Monitoreo Biológico.	14
Tabla 2. Clases, Valores y Características para las aguas clasificadas mediante el Índice BMWP adaptado para Colombia.	16
Tabla 3. Localización central hidroeléctrica Patico – La Cabrera	25
Tabla 4. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la estación 1	37
Tabla 5. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la estación 3	40
Tabla 6. Índice de Shannon-Weaver promedio por estación de muestreo	41
Tabla 7. Índice BMWP calculado para las diferentes estaciones de Muestreo	43
Tabla 8. Matriz de Influencia –Dependencia	46
Tabla 9. Organismos colectados Estación 1 en enero 8 de 2003	70

Tabla 10. Organismos colectados Estación 3 en enero 8 de 2003	70
Tabla 11. Organismos colectados Estación 1 en enero 18 de 2003	70
Tabla 12. Organismos colectados Estación 3 en enero 18 de 2003	71
Tabla 13. Organismos colectados Estación 1 en febrero 1 de 2003	71
Tabla 14. Organismos colectados Estación 3 en febrero 1 de 2003	71
Tabla 15. Organismos colectados Estación 1 en febrero 15 de 2003	72
Tabla 16. Organismos colectados Estación 3 en febrero 15 de 2003	72
Tabla 17. Organismos colectados Estación 1 en marzo 8 de 2003	72
Tabla 18. Organismos colectados Estación 3 en marzo 8 de 2003	73
Tabla 19. Organismos colectados Estación 1 en marzo 22 de 2003	73
Tabla 20. Organismos colectados Estación 3 en marzo 22 de 2003	73
Tabla 21. Organismos colectados Estación 1 en abril 12 de 2003	74
Tabla 22. Organismos colectados Estación 3 en abril 12 de 2003	74
Tabla 23. Organismos colectados Estación 1 en abril 30 de 2003	74
Tabla 24. Organismos colectados Estación 3 en abril 30 de 2003	75
Tabla 25. Organismos colectados Estación 1 en mayo 10 de 2003	75

Tabla 26. Organismos colectados Estación 3 en mayo 10 de 2003	75
Tabla 27. Organismos colectados Estación 1 en mayo 28 de 2003	76
Tabla 28. Organismos colectados Estación 3 en mayo 28 de 2003	76
Tabla 29. Organismos colectados Estación 1 en junio 11 de 2003	77
Tabla 30. Organismos colectados Estación 3 en junio 11 de 2003	77
Tabla 31. Organismos colectados Estación 1 en junio 25 de 2003	78
Tabla 32. Organismos colectados Estación 3 en junio 25 de 2003	78
Tabla 33. Registro de parámetros fisicoquímicos para la estación 1 en los meses de enero, febrero y mayo de 2003	79
Tabla 34. Registro de parámetros fisicoquímicos para la estación 2 en los meses de enero, febrero y mayo de 2003	79
Tabla 35. Registro de parámetros fisicoquímicos para la estación 3 en los meses de enero, febrero y mayo de 2003	80

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Macroinvertebrados colectados en la estación 1	37
Figura 2. Macroinvertebrados colectados en la estación 3	40
Figura 3. Valor índice de Shannon – Weaver por estación de muestreo	42
Figura 4. Índice BMWP para las diferentes estaciones de muestreo	44
Figura 5. Valores matriz influencias – dependencias	47
Figura 6. Temperatura hídrica estaciones - meses de muestreo	51
Figura 7. Oxígeno disuelto estaciones – meses de muestreo	52
Figura 8. Gas carbónico disuelto estaciones – meses de muestreo	53
Figura 9. pH estaciones – meses de muestreo	54
Figura 10. Conductividad estaciones – meses de muestreo	55

## LISTA DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
Foto 1. Estación 1, río Cauca con sus características naturales como su velocidad y caudal	28
Foto 2. Zona del embalse (estación 2)	29
Foto 3. Canal abierto que conduce el agua hacia la tubería de carga	29
Foto 4. Estación 3, recorrido normal del río Cauca	30
Foto 5. Modelo sustrato artificial utilizado para la captura de MAE	32
Foto 6. Ubicación del sustrato artificial en el fondo del embalse	32
Foto 7. Colecta manual del sustrato artificial ubicado en la Estación 2	33
Foto 8. Organismos colectados durante la época de muestreo	81
Foto 9. Organismos pertenecientes al orden <i>Ephemeroptera</i>	81
Foto 10. Organismos pertenecientes al orden <i>Trichoptera</i>	82
Foto 11. Organismos pertenecientes al orden <i>Diptera</i>	82

## INTRODUCCIÓN

En Colombia existen cerca de 24 embalses con volúmenes superiores a los mil millones de metros cúbicos; la mayoría de ellos tienen por finalidad la generación de energía hidroeléctrica. Sus áreas varían entre 0.2 Km<sup>2</sup> y 74 Km<sup>2</sup>, su ubicación entre los 70 metros y 3000 metros sobre el nivel del mar y una capacidad de generación entre los 10 y 1000 MW. La mayoría están localizados sobre las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y la altiplanicie Cundiboyacense. La vida útil de estos ecosistemas depende de muchos factores, entre los cuales pueden mencionarse: el área del embalse, el volumen, la profundidad, el tiempo de retención del agua, la limpieza previa del terreno a inundar, la cobertura vegetal de la cuenca y la calidad del agua que los surten, entre otros (Ramírez, 1989; Roldán, 1992 ).

Un embalse eutrofizado, al desoxigenarse produce aguas saturadas de ácido sulfhídrico, metano y hierro soluble, las cuales se vuelven tóxicas y al ser vertidas aguas abajo destruyen todo tipo de vida en los cauces de ríos y quebradas receptoras.

También se han presentado graves problemas de orden social y económico, debido a la reubicación de poblaciones y cambios en la actividad económica de sus moradores.

Los principales métodos para controlar la calidad del agua se apoyan fundamentalmente en análisis fisicoquímicos, relativamente exactos y fáciles de realizar.

Sin embargo, desde un punto de vista biológico es posible efectuar evaluaciones, como la caracterización de la fauna biótica (macroinvertebrados acuáticos) existente en la zona de estudio, que conllevan suficientes ventajas para justificar su empleo.

Con el presente trabajo, se pretende realizar una evaluación del efecto generado por la construcción de la central hidroeléctrica Patíco sobre la calidad biológica del río Cauca, municipio de Puracé - Coconuco en el departamento del Cauca.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL**

Determinar el efecto que ha causado la construcción de la central hidroeléctrica Patíco sobre la calidad biológica del río Cauca.

### **2.2. ESPECIFICOS**

- Caracterizar las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes y determinar las características fisicoquímicas hídricas en las diferentes estaciones de estudio (antes, en y después del embalse).
- Establecer la calidad biológica del río Cauca en las estaciones de estudio.
- Determinar el nivel de alteración que la central hidroeléctrica Patíco ha generado en el río Cauca, en el área de estudio.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Cada día es mayor la alteración sufrida por los ecosistemas lóticos a causa de actividades realizadas por el hombre. El río Cauca, que es uno de los ríos más importantes del país, tanto ecológica como económica y socialmente, a lo largo de su recorrido sufre algunas transformaciones antrópicas en sus características naturales que afectan a su vez a la biota acuática presente como lo es en éste caso en particular las comunidades de macroinvertebrados asentadas en él.

La construcción de la pequeña central hidroeléctrica Patico – La Cabrera sobre éste afluente ha ocasionado algunas transformaciones bióticas, con este proyecto se determinó el nivel de alteración de la calidad biológica de éste ecosistema

## **4. MARCO TEORICO**

### **4.1 CARACTERISTICAS MUNICIPIO DE PURACÉ - COCONUCO**

#### **4.1.1 Red hidrográfica**

La red hidrográfica en el municipio pertenece a las cuencas altas del río Cauca y Magdalena. La primera comprende las sub-cuencas de los ríos San Francisco y Grande – La Calera, y las microcuencas que conforman la cabecera del río en el resguardo de Paletará; la segunda comprende la sub-cuenca del río Bedón o Aguacatal. (POT municipio de Puracé, 2000).

#### **4.1.2 Geología**

El subsuelo del municipio de Puracé está constituido de rocas metamórficas de edad Paleozoica, rocas ígneas de edad triásico – Jurásico, rocas sedimentarias de edad Cretácea y en mayor cantidad por rocas volcánicas Terciarias – Cuaternarias de la Cadena Volcánica de los Coconucos en la Cordillera central.

La cadena volcánica de los Coconucos es el rasgo más importante del área; comprende 15 centros eruptivos, la mayoría de ellos con actividad post – glacial, alineados en dirección N 39° W, desde el cráter del volcán Puracé

(extremo NW) al Pan de azúcar (extremo SE), cuyo eje tiene una longitud de 6.5 Km. La cadena de los Coconucos se define como una provincia volcánica, la cual se caracteriza por presentar centros eruptivos con productos de mineralogía similar. (POT municipio de Puracé, 2000).

#### **4.1.3 Clima**

El clima depende de varios factores atmosféricos reinantes en la zona, tales como: precipitación y temperatura. La humedad relativa, la evaporación y el brillo solar contribuyen a caracterizar las unidades climáticas definidas. El municipio se ve afectado por el fenómeno de la circulación general de la atmósfera.

Fenómenos atmosféricos como “El Niño” y “La Niña” han determinado un cambio climatológico en los últimos años, presentando alteración de los ciclos normales de lluvias y sequía en la zona. (POT municipio de Puracé, 2000).

#### **4.1.4 Precipitación**

La influencia de la cadena de los Coconucos y del páramo hace, que las épocas de lluvias tengan bajas temperaturas y la presencia de fuertes vientos sea constante durante todo el año.

De acuerdo con los requisitos pluviométricos (exceden de 20 años) de las estaciones de Puracé, Loma Redonda, Coconuco, Paletará y Tarmales de Pilimbalá; la precipitación promedio es de 1.904.36 mm anuales, distribuida en períodos alternos de máxima y mínima precipitación. (POT municipio de Puracé, 2000).

#### **4.1.5 Humedad relativa (%)**

Los valores de máxima y mínima humedad, están relacionados con los valores de máximos y mínimos de precipitación mensual, siendo los meses de junio, julio y agosto los de mayor porcentaje de humedad (88%), y los meses de febrero y noviembre los de menor porcentaje (86%). La diferencia es solo de 2% entre el mínimo y el máximo valor. La humedad relativa promedio anual es de 87% los suelos y la vegetación permanecen constantemente húmedos. (POT municipio de Puracé, 2000).

#### **4.1.6 Evaporación (mm.)**

La evaporación está estrechamente relacionada con la precipitación, temperatura y radiación solar. Es así como a mayor precipitación en el mes de julio, se presenta menor temperatura, menor brillo solar, y menor evaporación (42.0 mm.). Los meses de diciembre-enero son los de mayor evaporación, con valores que oscilan entre 73.5 y 76.8 mm. Las fluctuaciones de evaporación en la zona durante el año son del 4.6%; en el mes de enero se observa un leve déficit de agua, el resto del año la precipitación es mayor que la evaporación garantizando el recurso hídrico en la zona. (POT municipio de Puracé, 2000).

#### **4.1.7 Brillo solar (horas)**

En la zona sur del municipio de Puracé, se reporta un valor medio anual de 973.9 horas que equivalen a 2.7 horas por días. La máxima insolación ocurre en el mes de enero, con un promedio de 115.0 horas equivalentes a 3.8 horas por día en promedio. La menor insolación se presenta en el mes de julio con 59.9 horas, que equivalen a poco menor de 2 horas por día. (POT municipio de Puracé, 2000).

#### **4.1.8 Bosque**

corresponde a 24.740,72 has, equivalentes al 27.34% del área Municipal; este tipo de cobertura se caracteriza por ser protectora del suelo y especialmente de las aguas. Una característica importante es que de estas montañas no intervenidas se desprenden innumerables corrientes de agua que enriquecen los principales ríos y quebradas del municipio y que son abastecedores de acueductos veredales. En general, la Cuenca del Alto Cauca y Alto Magdalena se originan en estos bosques. (POT municipio de Puracé, 2000).

#### **4.2 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PATICO**

El diseño de la central consiste en una presa tipo vertedero de concreto de 2 metros de longitud, 7.3 metros de ancho y altura máxima de 5,3 metros que se ubica unos 200 metros aguas debajo de la desembocadura del río Grande al río Cauca. En el estribo izquierdo se ubican los muros verticales, que al igual que la presa, están cimentadas sobre la roca e integrados a ella. El estribo derecho de la presa está integrado con la estructura de limpia

Los 15.38 m<sup>3</sup>/s del caudal de diseño se conduce desde la bocatoma por un túnel de 2.8 kilómetros de longitud y 3.0 metros de diámetro, que se inicia a 70 metros de la bocatoma. Para retener las partículas sólidas contenidas en el agua del río, que pueden presentar altas concentraciones en épocas de creciente, el agua del túnel se conduce a un desarenador con vertederos, ubicado en una zona semiplana de la salida del túnel, donde actualmente existe la escuela.

Después del desarenador el agua pasa por un canal abierto de 0.7 kilómetros de longitud una parte del cual (teniendo en cuenta las fuertes pendientes transversales del terreno) se cubre con una placa de concreto (box – culvert)

que permite evitar daños por posibles derrumbes y a la vez sirve como carretera. Por este canal el agua llega hasta el tanque de carga que permite su entrada a la tubería de carga que es de acero y con un diámetro de 2.10 metros.

La tubería de carga llega hasta la casa de máquinas de tipo superficial, la cual se localiza sobre la margen derecha del río a una altura de 2020 msnm y se ubica 60 metros aguas arriba de la bocatoma de Florida II. La casa de máquinas consta de dos turbinas tipo Francis de 7.4 MW cada una para generar una potencia de 14.8 MW aprovechando una caída media de 110 metros.

El agua se devuelve al río Cauca mediante un canal de fuga rectangular y de pequeña longitud. No se captaron las aguas de las quebradas presentes en la zona de la central. (POT municipio de Puracé, 2000).

### **4.3 BIOINDICACIÓN**

Se considera que un organismo es un indicador de calidad de agua, cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat. Así por ejemplo, en ríos de montaña de aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de efemerópteros, tricópteros y plecópteros; pero también se espera encontrar en bajas proporciones, odonatos, hemípteros, dípteros, neurópteros, ácaros, crustáceos y otros grupos menores.

Es por lo tanto, importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como un método para evaluar la calidad del agua. La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de

las condiciones que allí están prevaleciendo y que las fluctuaciones de contaminación que puedan presentarse, no son lo suficientemente fuertes como para provocar un cambio significativo en la misma. (Roldán, 1992).

Para Pinilla (1998) un indicador biológico acuático es considerado como aquel cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita, en especial si tales fenómenos constituyen un problema de manejo del recurso hídrico, el indicador biológico se refiere a la población de individuos de la especie indicadora. Un contaminante o cualquier otro evento particular que perturbe las condiciones iniciales de un sistema acuático provocará una serie de cambios en los organismos, cuya magnitud dependerá del tiempo que dure la perturbación, su intensidad y su naturaleza. La acción puede ser indirecta (cambios en el medio) o directa (ingestión o impregnación). Las respuestas a estos cambios significan para la especie mantener el funcionamiento normal a expensas de un gran gasto metabólico (Mason, 1984).

#### **4.3.1 Características ideales de un bioindicador**

Cuando se habla de características ideales de un bioindicador, se observa que sólo unos pocos organismos podrían estrictamente llenar estos requerimientos. Para definir un bioindicador de calidad de agua, primero debe conocerse la flora y fauna acuática de la región motivo de estudio. Para nuestros países tropicales, este conocimiento es aún muy deficiente y solo se tiene un conocimiento hasta nivel de familias o en el mejor de los casos hasta género. Los macroinvertebrados son los de más amplia aceptación dadas las siguientes ventajas:

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar
- Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos menores

- Son sedentarios en su mayoría y reflejan las condiciones locales
- Poseen ciclos de vida largos
- Son apreciables a simple vista
- Se pueden cultivar en el laboratorio
- Varían poco genéticamente
- Responden rápidamente a los tensores ambientales

Es claro que desde hace varias décadas existen métodos biológicos para evaluar la calidad del agua que son de amplio uso principalmente en Europa, los Estados Unidos y Canadá, pero debido a que la fauna acuática allí existente es diferente a la nuestra, no pueden aplicarse en el trópico sin antes conocer qué tipo de organismos viven aquí, cuáles son sus exigencias ecológicas y su distribución geográfica. Debe tenerse en cuenta igualmente, que dentro de los métodos existentes los hay desde los más simples, en los cuales bastaría utilizar sólo grupos mayores de organismos ( Por ejemplo, a nivel de ordenes y familias), hasta los más complejos como el sistema saprobio alemán, el cual exige llegar hasta el nivel especie. Los primeros estudios realizados en Sur América relacionados con bioindicación se llevaron a cabo en Brasil.

El principal problema de los bioindicadores en Colombia está en el desconocimiento (o conocimiento superficial) de su biología, taxonomía hasta nivel de especie, ecología y distribución. Por otra parte, la sola presencia de una especie indicadora es insuficiente y se necesita realizar estudios sobre las densidades poblaciones y sus fluctuaciones naturales, asociadas a los cambios estacionales tropicales, así como trabajos sobre las diferentes comunidades acuáticas, las cuales pueden indicar los procesos y fenómenos ecosistémicos de forma más confiable que si se hiciera con una sola especie indicadora (Pinilla, 1998). Debido a esto se propone utilizar un método intermedio (familia) basado en el grupo de organismos mejor conocido, como

es el de los macroinvertebrados acuáticos y restringido sólo a los ríos y quebradas de montaña, donde se tiene un mejor conocimiento actualmente (Roldán, 1988).

Zamora, Hildier y Castillo, Mauricio realizaron muestreos durante un año (agosto de 1997 y julio de 1998) en el río Los Robles departamento del Cauca, con el fin de evaluar el efecto causado por la extracción de arena sobre la comunidad de macroinvertebrados bénticos.

Zamora, Hildier llevó a cabo un estudio sobre los macroinvertebrados presentes en los diferentes pisos altitudinales en el departamento del Cauca, contribuyendo a la gran labor de ampliar la información de la fauna existente en nuestro departamento.

#### **4.4 ÍNDICES DE EVALUACIÓN**

Existen muchos índices con los cuales se pueden realizar los respectivos análisis de los estudios relacionados con bioindicación entre ellos tenemos:

##### **4.4.1 Índice de diversidad de Shannon Weaver**

Este refleja igualdad; mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen la comunidad mayor es el valor

$$H' = -\sum (n_i / N) \ln (n_i / N)$$

$n_i$  = Número de individuos por especie

$N$  = Número total de individuos

$\ln$  = logaritmo natural

El índice de diversidad oscila entre 0.0 y 5.0 y se interpreta de la siguiente manera

0.0 – 1.5	Baja diversidad	alta contaminación
1.6 – 3.0	Mediana diversidad	mediana contaminación
3.1 – 5.0	Alta diversidad	baja contaminación

#### **4.4.2 Índice de calidad BMWP**

En 1970 el Biological Monitoring Working Party (BMWP) estableció en Inglaterra un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta nivel de familia y que requiere solo datos cualitativos (presencia / ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles reciben una puntuación de 10; en cambio las más tolerantes a la contaminación reciben una puntuación de 1. Familias intolerantes a la contaminación tienen puntajes altos y las tolerantes puntajes bajos (Armitage et al, 1983).

Como el índice solo permitía obtener unas puntuaciones para comparar situaciones de calidad pero no para emitir juicios respecto de la misma y con base en trabajos realizados en Colombia por diferentes investigadores; Zamora, H.(1999) realizó una adecuación para Colombia del sistema BMWP, con la finalidad de contribuir con la diversidad y enriquecimiento de las metodologías de trabajo en el campo de los análisis de la calidad de las aguas en los ecosistemas lénticos y lóticos de Colombia.

##### **4.4.2.1 Procedimiento para calcular el índice BMWP**

Los organismos de la muestra capturada son identificados taxonómicamente al nivel de familia, lo cual facilita el trabajo. Sobre el inventario realizado se

asigna el puntaje correspondiente a cada familia en una primera tabla y mediante la sumatoria se obtiene el valor del índice BMWP.

El valor del índice BMWP obtenido en la primera tabla se ubica en su respectivo rango en una segunda tabla; de esta manera se obtiene los juicios sobre calidad y cartografía, que son los correspondientes al renglón del rango (Zamora, H. 1999).

Tabla 1. Niveles de bioindicación de las familias de macroinvertebrados acuáticos y su respectiva puntuación, de acuerdo con la adaptación realizada para Colombia del Sistema para Determinación del Índice de Monitoreo Biológico.

ORDENES	FAMILIA	PUNTOS
Plecoptera Ephemeroptera Trichoptera  Diptera Hidroida	Perlidae Euthyplociidae, Polymitarciidae Odontoceridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae, Calamoceratidae, Hydroptilidae. Blepharoceridae Hidridae, Clavidae, Petasidae	10
Ephemeroptera Odonata Trichoptera  Diptera Psephenidae	Oligoneuridae, Leptophlebiidae Megapodagrionidae, Plythoridae Hydrobiosidae, Xiphocentronidae, Philopotamidae Simullidae Psephenops	9
Odonata Trichoptera Coleóptera Hemíptera  Diptera	Coenagrionidae, Calopterygidae Helicopsychidae Dytiscidae, Ptilodactylidae, Scirtidae Notonectidae, Mesolveiidae, Hebridae, Naucoridae Dixidae	8
Ephemeroptera Trichoptera Coleóptera	Tricorythidae, Leptohiphidae Polycentropodidae, Psychomyiidae Elmidae, Dryopidae, Staphylinidae,	7

Hemíptera Diptera Mesogastropoda	Girinidae Pleidae, Vellidae, Guerridae Empididae, Dolichopodidae, Muscidae Melaniidae	7
Ephemeroptera Trichoptera Coleóptera Odonata Lepidóptero Neuróptero Decápodo Anphioda Gordioidea Unionoida Tricladida	Baetidae Hidropsychidae, Leptoceridae Noteridae, Haliplidae Libellulidae Pyrilidae Corydalidae Atyidae Hyaellidae Gordiidae, Chordodidae Unionidae Planariidae, Dugesidae	6
Coleóptera Odonata Diptera Decápodo Hemíptera	Limnychidae Aeshnidae, Lestidae Tabanidae, Ceratopogonidae Palaemmonidae Belostomatidae	5
Coleóptera Diptera Hidracarina Hemíptera Basommatophora	Curculionidae, Chrysomelidae Tipulidae, Stratiomyidae, Culicidae Hidracaridos Corixidae, Hydrometridae Ancyliidae, Chiliidae	4
Hemíptera Coleóptera Trichoptera Diptera Mesogastropoda	Nepidae, Gelstocoridae, Saldidae Hidrophilidae Leptoceridae Psychodidae Goniobasidae, Hydrobiidae	3
Diptera Basommatophora Heplotaxida Glossiphoniiformes	Chironominae                      Choronomidae, Orthocladinae, Tanypodinae Physidae, Limnaeidae, Planorbida Todas las familias (excepto tubifex) Glosiphoniidae,                      Ozobanchidae, Cyclobdellidae,                      Cylicobdellidae, Piscicolidae, Macrobdeleidae	2

Haplotaxida	Tubificidae (tubifex)	1
Diptera	Syrphidae, ephydriidae	

Fuente: Biological Monitoring Working Party Score System (Índice BMWP).

Tabla 2. Clases, Valores y Características para las aguas clasificadas mediante el Índice BMWP adaptado para Colombia.

CLASE	RANGO	CALIDAD	CARACTERISTICAS	COLOR CARTOGRAFICO
I	>121	Muy buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101 ≥120	buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61 – 100	aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 – 60	dudosa	Aguas Contaminadas	Amarillo
V	16 – 35	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤ 15	Muy critica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Aspectos Bioecológicos de las comunidades de invertebrados de los acuícolas en el departamento del Cauca.

#### 4.4.3 Matriz de Influencias – Dependencias

La elaboración de esta matriz tiene por objeto determinar el grado de Influencia y Dependencia de los indicadores Específicos o de Primer Nivel, permitiendo elaborar una categorización en referencia a estos dos aspectos.

Un indicador que presente un alto grado de dependencia, indica que es de alto valor en el análisis ambiental, ya que es sensible a los cambios. La elaboración de ésta matriz tiene también por objeto centrar la atención del análisis y escoger indicadores que sean representativos para la evaluación, que además sean medibles o cuantificables.

En esta matriz se localizan sobre las abscisas los indicadores y se cruzan con los mismos indicadores que se localizan en las ordenadas. Su procesamiento se hace estableciendo las relaciones de influencia o dependencia. En el caso de ninguna influencia por lo que no hay ningún tipo de relación se escribe cero (0) en la casilla correspondiente. Las relaciones que se presente entre los mismos indicadores se anotan con un cero (0).

Cuando se da una relación de dependencia, o de influencia, como la relación es directa y además se presenta una influencia y dependencia entre los indicadores, se anota un uno (1) en la casilla correspondiente. Las influencias se leen de la parte superior de la matriz hacia abajo, es decir verticalmente y las dependencias tienen una lectura de izquierda a derecha de la matriz u horizontalmente. Por cada casilla de la matriz sólo se tiene una relación de dependencia o de influencia directa.

El número de indicadores utilizados es importante para calcular el peso de las influencias y las dependencias de cada indicador dentro del ecosistema. La sumatoria de las influencias está dada con relación al número de indicadores sobre los cuales influye, circunstancia igual para las dependencias. El porcentaje de influencia o de dependencia será el resultado de dividir el número de influencias o de dependencias por el número total de indicadores de primer nivel que están definiendo la matriz.

Los datos aquí obtenidos pueden ser llevados a un plano de coordenadas donde se grafique la relación influencias / dependencias, localizado en el eje de las "x" las dependencias y en el de las "y" las influencias,

- Los indicadores localizados en el cuadrante I son los que ejercen mucha influencia, teniendo pocas dependencias,
- Los que se localizan en el cuadrante II ejercen mucha influencia y a la vez sufren muchas dependencias,

- Los que están en el cuadrante III tienen poca influencia y a la vez tienen mucha dependencia,
- Los indicadores que están en el cuadrante IV tienen poca influencia y también poca dependencia.

Según este análisis los sistemas (ecosistemas) que tengan el mayor número de indicadores en el cuadrante IV serán los más resistentes al cambio, en contraposición, los sistemas (ecosistemas) que tengan el mayor número de indicadores en el cuadrante II serán altamente susceptibles a los tenses y por lo tanto son más vulnerables. Los indicadores del cuadrante I al tener pocas dependencias son resistentes al cambio, pero si llegan a ser afectados influyen en muchos indicadores (Figuroa et al, 1998).

## **4.5. FISICOQUÍMICA DEL AGUA**

### **4.5.1. Temperatura**

Efecto que se deriva de la penetración lumínica y por consiguiente de la cantidad de energía calórica que es absorbida por el cuerpo de aguas naturales, es el aspecto térmico de un ecosistema acuático y es importante considerarlo puesto que incide en características físicas como: densidad del agua, solubilidad de gases, reacciones químicas tanto en la columna de agua como en el sustrato y en procesos biológicos tales como: niveles tróficos de la biota acuática, tasas metabólicas, conversiones alimenticias, procesos de maduración gonádica, distribución de las poblaciones, migraciones, procesos de degradación de materia orgánica

Es necesario relacionar la temperatura ambiental con la hídrica, como consecuencia del alto calor específico del agua, que permite la disipación de la luz y la acumulación de calor, con el fin de determinar los gradientes y posibles estratificaciones térmicas que puedan presentarse desde la

superficie hasta los diferentes niveles de profundidad en función de: dinámica del cuerpo de agua, piso térmico, hora día, entre otros.

Normalmente la temperatura disminuye en función de la profundidad, concepto válido fundamentalmente para los cuerpos de aguas naturales de las zonas tropicales. Los niveles resultantes de la estratificación térmica vertical, influyen en los ciclos físicos y químicos de las aguas y en los procesos de producción y respiración que se llevan a cabo en los ecosistemas acuáticos condicionando hábitat propios para organismos estenotérmicos o euritérmicos (Roldan, 1992).

#### **4.5.2 Oxígeno disuelto**

Es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. La difusión del oxígeno en un ecosistema acuático se lleva a cabo por medio de la circulación y movimientos del agua provocados por diferencia de densidad de las capas de agua o por los vientos. Otra fuente de oxígeno en el agua es la fotosíntesis, generalmente en ecosistemas acuáticos de tipo léntico.

El volumen de oxígeno disuelto en el agua al igual que los demás gases, depende de tres factores fundamentales: la temperatura, la presión parcial de los gases atmosféricos en contacto con el agua y la concentración de las sales disueltas (salinidad) (Roldan, 1992).

#### **4.5.3 Gas carbónico disuelto**

El gas carbónico disuelto es el segundo gas en importancia presente en el agua. Se origina por la descomposición de la materia orgánica, por la respiración de los animales y las plantas y por el agua lluvia. El agua lluvia

arrastra consigo el gas carbónico presente en la atmósfera lo que aumenta la concentración de este gas en los cuerpos de aguas naturales (Roldan, 1992).

El gas carbónico es muy soluble en el agua (200 veces más que el oxígeno) (Boyd, 1990), ya que éste se combina con otros iones en el agua y cumple las leyes normales de solubilidad bajo condiciones de temperatura (relación inversa) y presión. La concentración de éste gas en el agua está influenciada por los procesos fotosintéticos, los procesos de respiración y por descargas de materia orgánica que pueden elevar los valores hasta concentraciones que se consideren factor limitante para el desarrollo de la biota acuática (valores superiores a 20 mg/L) (Boyd, 1990). Por consiguiente es importante tener en cuenta en el análisis, la dinámica de este gas, puesto que existe una relación muy estrecha entre su concentración, el estado trófico y estratificación química del ecosistema (Vásquez, 2001).

#### **4.5.4 pH**

Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua expresada por el logaritmo del inverso de la concentración (Margalef, 1998). Roldan (1992) lo define como el potencial de hidrogeniones que indica la concentración de estos iones en el agua; logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones en moles por litro, además hace referencia a que en aguas naturales los valores de pH varían en función de: estado trófico del sistema, concentración de gas carbónico, presencia de iones que determinan la alcalinidad ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc); acidez mineral, factores edáficos, presencia de ácidos orgánicos (ácidos húmicos); columna de agua.

Para el normal desarrollo de la biota acuática el pH fisiológico óptimo está entre 7.0 – 7.4 según Roldan y citado por Vásquez (2001). También es importante considerar que las reacciones de tipo biológico como la

fotosíntesis, tienden a disminuir la concentración de gas carbónico, aumentando los valores de pH, por el contrario, actividades como la respiración la degradación de materia orgánica, la fermentación microbiana del metano, la nitrificación del amonio y la oxidación de los sulfuros; y en general las reacciones químicas que eventualmente se pueden presentar tanto en la columna de agua como en el sustrato elevan la concentración del gas carbónico, disminuyendo los valores de pH. Fluctuaciones drásticas de pH en un ecosistema acuático inciden notablemente en el metabolismo y distribución de la biota, al variarse la distribución del carbono total, dado que existen relaciones entre el ion hidrógeno, el gas carbónico y el pH, que conducen a estimas los niveles de productividad primaria según Roldan y citado por Vásquez (2001).

#### **4.5.5 Alcalinidad**

Se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, la cual le confiere propiedades buffer, esto quiere decir que proporciona al agua resistencia ante los cambios en la concentración de hidrogeniones cuando se añade producto ácidos o básicos. El concepto de alcalinidad está asociado a las formas en las cuales se encuentra el dióxido de carbono en los cuerpos de agua naturales y es el principal indicador de la presencia de iones carbonato, bicarbonato (Roldan, 1992).

Es un parámetro importante ya que permite determinar la capacidad del sistema para mantener procesos biológicos y una productividad sostenida y permanente. Según Roldan y citado por Vásquez (2001) la alcalinidad del agua la define en gran parte la naturaleza geoquímica del sustrato. La mayoría de las aguas en especial aquellas que poseen valores altos de alcalinidad total, resisten mejor los cambios drásticos de pH, por consiguiente son aptas para el normal desarrollo de la biota acuática.

#### **4.5.6 Conductividad**

Se define como una medida a la resistencia de una solución al flujo eléctrico, la resistencia disminuye con el incremento del contenido de sales; por consiguiente aumenta la conductividad según Roldan y citado por Vásquez (2001).

En aguas naturales la conductividad permite medir la cantidad de iones por lo tanto se correlaciona con los sólidos disueltos y con la salinidad. Según Roldan y citado por Vásquez (2001) la conductividad proporciona una idea aproximada acerca de la realidad de un ecosistema acuático, actividad iónica, diversidad biótica (relación inversa); procesos de osmorregulación y balance hídrico; productividad natural primaria, procesos de descomposición de materia orgánica (estado trófico) naturaleza bioquímica del sustrato, origen de un proceso de alteración (contaminación). Los valores habituales son de menos de 50 microsiemens ( $\mu\text{s/cm}$ ) o menos en aguas muy puras hasta 500 a 1000  $\mu\text{s/cm}$  para la fuertemente mineralizadas (Margalef, 1983).

#### **4.5.7 Sólidos totales disueltos**

Se trata de la concentración total de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales. Según Roldan su importancia radica en poder determinar las condiciones edáficas, la salinidad y los niveles de productividad natural del cuerpo de agua ecosistema, puesto que incide en la turbiedad de la columna de agua, en la penetración lumínica y procesos bioenergéticos (fotosíntesis). Las aguas oligotróficas presentan valores bajos (entre 10 y 25 mg/L), mientras que aguas de naturaleza trófica tienden a aumentar considerablemente estos valores (entre 50 – 200 mg /L) (Roldan, 1992).

#### **4.5.8 Salinidad**

Se define como la concentración total de los componente iónicos tales como carbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos (aniones); estos se encuentran en combinación con cationes tales como calcio, sodio, potasio, hierro y magnesio, formando sales ionizables (Roldan, 1992). La presencia de estos iones en el agua esta asociada a la naturaleza geoquímica del sustrato.

#### **4.5.9 Dureza**

Existen varias clasificaciones de acuerdo con los valores de dureza: Ohle (1934) (citado por Roldan, 1992) propuso una clasificación según la productividad: poco productivas (con valores menores a 10 mg CaCO<sub>3</sub>/L), medianamente productivas (valores entre 10 y 25 mg CaCO<sub>3</sub>/L), y muy productivas (valores superiores a los 25 mg CaCO<sub>3</sub>/L).

La dureza está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua (Roldan, 1992).

Las aguas con bajos valores de dureza se llaman también “aguas blandas” y son biológicamente poco productivas. Aguas con altos valores de dureza se denominan “duras” y usualmente son muy productivas.

La dureza “temporal” se conoce como la dureza por carbonatos y bicarbonatos ya que ésta desaparece al hervir el agua o provocar precipitación de los carbonatos de calcio y de magnesio. La dureza “permanente” está definida por la presencia de cloruros y sulfatos de calcio y de magnesio, los cuales no se precipitan por la prueba de alcalinidad ni por el calentamiento del agua. La dureza total esta determinada por la suma de la dureza temporal mas la dureza permanente (Roldan, 1992). Desde el punto

de vista de calidad del agua, la dureza se determina por la cantidad de cationes que forman compuestos insolubles con el jabón.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La empresa Genelec S.A. E.S.P. (Empresa de Servicios Públicos) ejecutó en el municipio de Puracé - Coconuco el proyecto de la pequeña central hidroeléctrica Patico- La Cabrera, correspondiente al desarrollo hidroeléctrico del río Cauca, en el tramo comprendido entre la confluencia del río Grande y la actual bocatoma de la central hidroeléctrica de Florida II. El área de la zona de influencia directa del proyecto, tiene una extensión de 8 Km<sup>2</sup> y se localiza en las siguientes coordenadas:

Tabla 3. Localización central hidroeléctrica Patico – la Cabrera

<b>COORDENADAS</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>
<b>PUNTOS</b>		
<b>A</b>	2°25'10.21"	76°30'36.05"
<b>B</b>	2°25'10.19"	76°29'31.32"
<b>C</b>	2°22'59.59"	76°30'36.1"
<b>D</b>	2°22'59.9"	76°29'31.37"

Fuente: Plan de ordenamiento territorial municipio de Puracé - Coconuco

La pequeña Central hidroeléctrica Patico – La Cabrera está ubicada en el municipio de Puracé, sobre el río Cauca entre los 2000 y 2150 msnm.

El área de influencia de la hidroeléctrica comprende el tramo de 3.54 Km. de longitud desde la bocatoma de la Central hasta la casa de máquinas donde

se devuelve el agua utilizada al río Cauca. Puntos de interés en el presente estudio.

La Central hidroeléctrica se encuentra ubicada a 18 Km. de la ciudad de Popayán y a 6 Km. de la cabecera municipal del municipio de Puracé – Coconuco.

## **5.1 ESTACIONES DE MUESTREO**

Para la realización del presente trabajo se seleccionaron tres estaciones o zonas de muestreo (mapa 1), definidas con base en la localización de la pequeña central hidroeléctrica, con el fin de realizar una comparación entre los organismos colectados en los sitios con características físicas diferentes a simple vista.

### **5.1.1 Estación 1**

Se encuentra localizada 100 metros antes de iniciar la cola del embalse, donde el río aún conserva sus características naturales, sustrato rocoso, tabla de agua poco profundo lo cual hace que sea una zona de fácil muestreo, temperatura promedio de 14°C, con gran cobertura vegetal a su alrededor donde se encuentran especies como Encenillo (Weinmenia Pubences), Jigua (Vismia sp.), Tablero (Carpotroche sp.), Carbonero y Colorado (Foto 1).

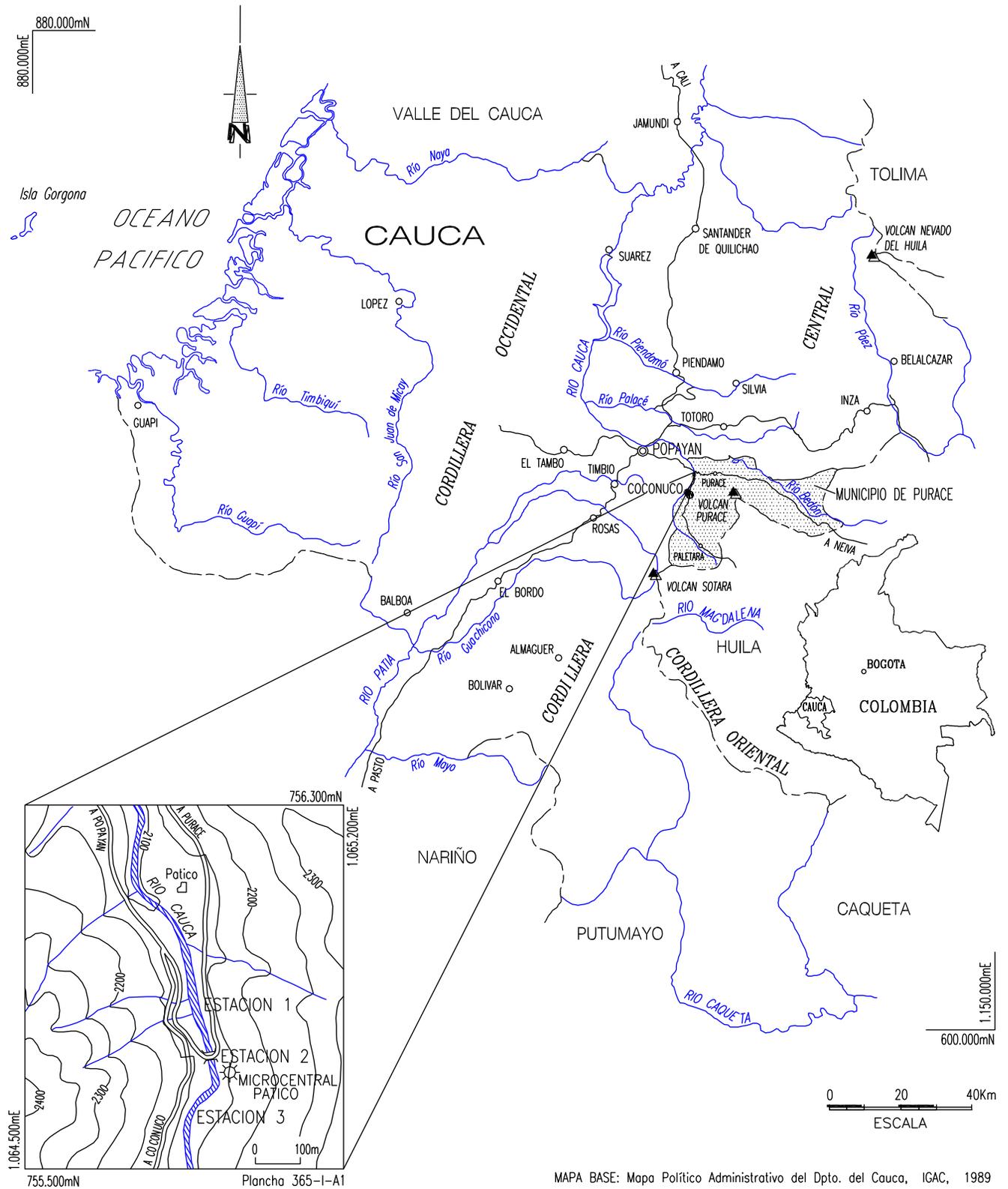


Figura 1. Localización del área de estudio.



Foto 1. Estación 1, río Cauca con sus características naturales como su velocidad y caudal

### **5.1.2 Estación 2**

Zona del embalse, con características mixtas, entre lóxico y léxico, en este lugar se observa erosión de taludes lo cual lleva a una pérdida de cobertura vegetal y a una gran alteración de la cuenca visual (Foto 2 y 3).



Foto 2. zona del embalse (estación 2)



Foto 3. Canal abierto que conduce el agua hacia la tubería de carga

### 5.1.3 Estación 3

Los primeros 100 metros después del embalse, zona de descargue del mismo, de sustrato rocoso, con una profundidad promedio de 1 metro, temperatura promedio de 15 °C, inicia la recuperación de sus características naturales como su velocidad de corriente (Foto 4 ).



Foto 4. estación 3, inicio del recorrido normal del río Cauca después de recibir la descarga de la central hidroeléctrica.

En estos sitios se llevó a cabo la captura de macroinvertebrados acuáticos, se tomaron los principales parámetros fisicoquímicos (Temperatura ambiental, Temperatura del agua, O<sub>2</sub>D., % saturación de O<sub>2</sub>D., CO<sub>2</sub>, pH, conductividad, entre otros), y los datos relacionados con calidad biológica. Los muestreos se realizaron quincenalmente por un periodo de 6 meses, entre enero y junio de 2003, dónde además se tuvo en cuenta periodos de verano (mes de enero, febrero y marzo) y de lluvia (mes de abril, mayo y junio).

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1 ANALISIS CALIDAD BIOLÓGICA**

Este análisis se basa en los datos obtenidos con la captura de macroinvertebrados acuáticos y la toma de datos fisicoquímicos, los cuales se realizaron durante las horas de la tarde (entre 3 y 5 p.m.).

#### **6.1.1 Colecta de macroinvertebrados acuáticos**

En los tres sitios seleccionados se colectaron los macroinvertebrados bentónicos de la siguiente forma:

##### **6.1.1.1 Captura**

En los sitios poco profundos se realizó mediante el método de flotación y manualmente. En la zona embalsada se colocó un sustrato artificial para tal fin, por un periodo de 3 meses en el cual los muestreos se realizaron semanalmente (Foto 5 y 6).



Foto 5. Modelo sustrato artificial utilizado para la captura de MAE en la parte embalsada.



Foto 6. Ubicación del sustrato artificial en el fondo del embalse

#### **6.1.1.1.1 Método de flotación:**

Consiste en una red de malla metálica o plástica, de un tejido muy fino (1 mm.), con área de 1 m<sup>2</sup>, sujeta a cada lado por dos palos de 1.5 m de longitud. Una persona sostiene la malla y la otra, remueve el fondo del río de esta manera los organismos removidos del sustrato quedan atrapados en la malla. Este método puede ser cualitativo o cuantitativo dependiendo de las características del muestreo.

#### **6.1.1.1.2 Método manual:**

Este método consiste en levantar las rocas del fondo del río y con unas pinzas de punta fina realizar la colecta. Este es un método cualitativo (Foto 7).



Foto 7. Colecta manual del sustrato artificial ubicado en la zona embalsada

#### **6.1.1.1.3 Sustrato artificial**

Consiste en colocar piedras dentro de una canasta de alambre (50 cm de longitud por 20 cm de diámetro, aproximadamente); ésta se llena de rocas y se fija en el fondo de la corriente (Roldán, 1988) (Foto 5 y 6).

#### **6.1.1.2 Conservación**

Los organismos se colectaron con pinzas de punta fina y luego se pasaron a frascos de boca ancha con alcohol al 70%. Los frascos se rotularon con los siguientes datos: Estación de muestreo, fecha y características generales del lugar.

#### **6.1.1.3 Identificación**

Los organismos colectados se pasaron a cajas de Petri donde con la ayuda del estereoscopio y guías taxonómicas pertinentes se procedió a la identificación detallada llegando hasta el nivel de género.

#### **6.1.2 Toma de parámetros fisicoquímicos**

Se realizaron dos tomas de datos fisicoquímicos para la época de verano (enero y febrero) y una para la época de invierno (mayo), en las tres estaciones seleccionadas por medio de los métodos estándar potenciométricos y calorimétricos.

Los parámetros registrados en campo fueron temperatura ambiente y del agua, oxígeno disuelto, CO<sub>2</sub>, pH y conductividad, Los análisis de acidez, alcalinidad, amonio, nitritos, nitratos, sólidos disueltos totales (S.D.T.), dureza total y carbonácea se realizaron en el laboratorio con la ayuda de equipos y reactivos correspondientes. Para tal efecto se tomaron muestras

de agua de cada una de las estaciones en recipientes plásticos de un litro los cuales fueron rotulados debidamente con el nombre de la estación de muestreo y la fecha de la toma de muestra. Para su posterior análisis se usaron equipos como oxígenómetro, pHmetro, conductímetro, termómetro ambiental y Kit Merck, para determinar la cantidad de gas carbónico se utilizó el método de la Fenolftaleína.

## 7. RESULTADOS Y ANALISIS

### 7.1 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Los datos obtenidos con la respectiva identificación de los macroinvertebrados acuáticos colectados permitieron detectar el nivel de alteración que causó la construcción de la central sobre el río Cauca.

#### 7.1.1 Estación 1

Durante el período de muestreo se colectaron 1155 individuos pertenecientes a los órdenes *Plecoptera*, *Ephemeroptera*, *Trichoptera*, *Díptera*, *Coleoptera* y *Basommatophora*. En total se encontraron dos (2) phyla, dos (2) clase, seis (6) ordenes, diecisiete (17) familias y veinte (20) géneros (tabla 4).

Tabla 4. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la estación 1

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOT	
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	4	1	2	12	17	8	44	
			Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes	16	16	24	29	123	62	270
				Baetidae	Baetodes sp	50	72		11	6	7	146
		Trichoptera	Leptophlebiidae	Baetis sp	2	6		12	17	9	46	
				Thraulodes sp	2			5	32	17	56	
				Terpides sp		1	14				15	
			Tricorythidae	Leptohiphes sp	25						25	
			Hydropsychidae	Smicridea		1		22	126	63	212	
				Leptonema	12		10	18	20	10	70	
		Mortoniella			9		23	52	26	110		
		Diptera	Hydroptilidae	Ochrotrichia		8	8			16		
			Hydrobiosidae	Atopsyche				9	5	14		
			Philopotamidae	Chimarra		1				1		
			Blepharoceridae	Limonicola sp1	5	13		11	20	11	60	
				Tipulidae	Tipula				3	2	5	
			Coleóptera	Limnynchidae	Eulimnichus sp	1		14			15	
				Elmidae	Heterelmis sp			13			13	
		Ptilodactylidae		Anchytarsus				6	4	2	12	
		Psephenidae		Psephenops sp					2	1	3	
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	Physa	12	2	8			22		
<b>TOTAL</b>					129	130	93	149	431	223	1155	

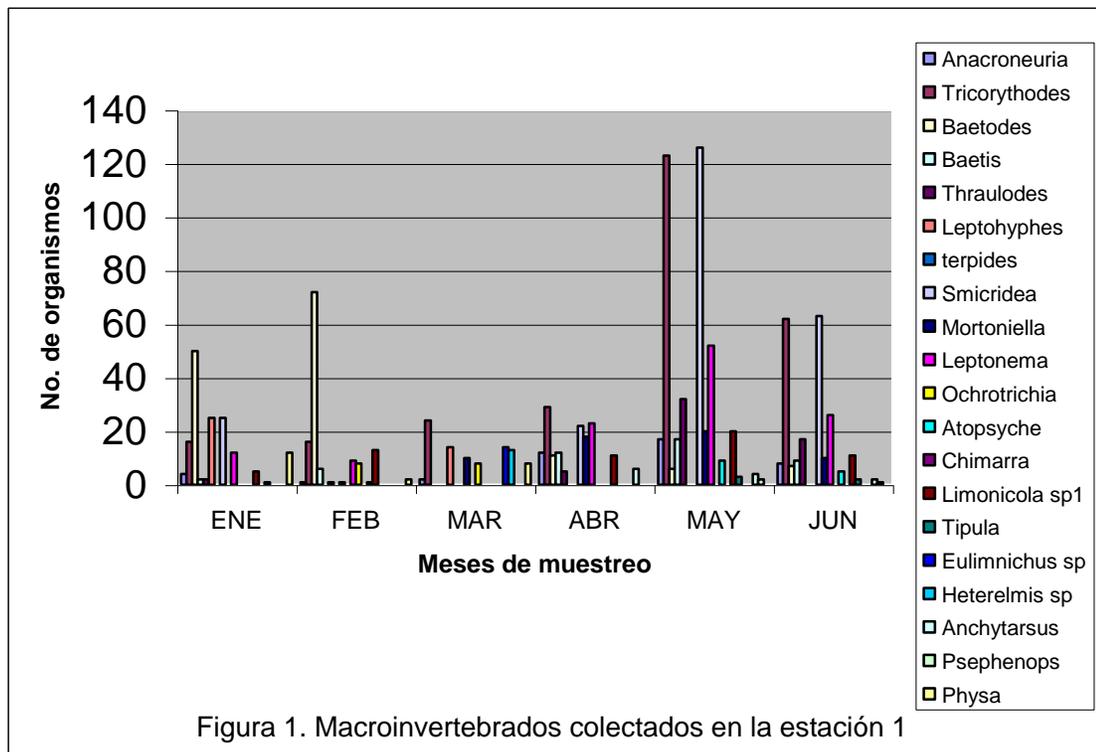


Figura 1. Macroinvertebrados colectados en la estación 1

En ésta estación predomina el género *Tricorythodes sp.* correspondiente al orden *Ephemeroptera* con un 23.33% (Tabla 4, figura 1) del total de la población colectada, organismos son indicadores de aguas medianamente contaminadas, seguido por el género *Smicridea* de orden *Trichoptera* el cual pertenece al 18.32% del total de la población colectada, estos organismos toleran un poco de contaminación y son indicadores de aguas de oligo a mesotróficas. otro género encontrado con un porcentaje considerable es el *Baetodes sp. (Ephemeroptero)* con un 12.61% del total de la población, éstos organismos son indicadores de aguas limpias aunque pueden tolerar un poco de contaminación orgánica. El 9.5% pertenece al género *Mortoniella (Trichoptero)*, son característicos de aguas con mucha corriente y muy oxigenadas e indicadores de aguas oligotróficas.

De igual manera se encontró una amplia cantidad de géneros que en número no son significativos (Tabla 4, figura 1) y en conjunto con los anteriormente mencionados indican que la estación 1 es una zona de poca o mediana contaminación con aguas entre oligo a mesotróficas.

### **7.1.2 Estación 2**

Esta estación pertenece a la zona embalsada del río donde se construyó la pequeña central hidroeléctrica Patico, como se menciona anteriormente en este sitio fue necesario colocar un sustrato artificial para poder realizar la colecta de macroinvertebrados acuáticos ya que por su profundidad (más o menos 12 metros) era imposible utilizar los métodos de muestreo utilizados en las otras dos estaciones.

El resultado del muestreo fue negativo debido a que no se logró colectar ningún individuo. Una de las posibles explicaciones a este fenómeno se basa en el manejo metodológico que se le dio al sustrato artificial, a su vez

se debe pensar en el tiempo de muestreo (tres meses) que aunque la teoría nos indica que a las cuatro semanas el sustrato se empezará a poblar, debe tenerse en cuenta la barrera que existe (Dique), para que los macroinvertebrados acuáticos cumplan su ciclo normal de vida.

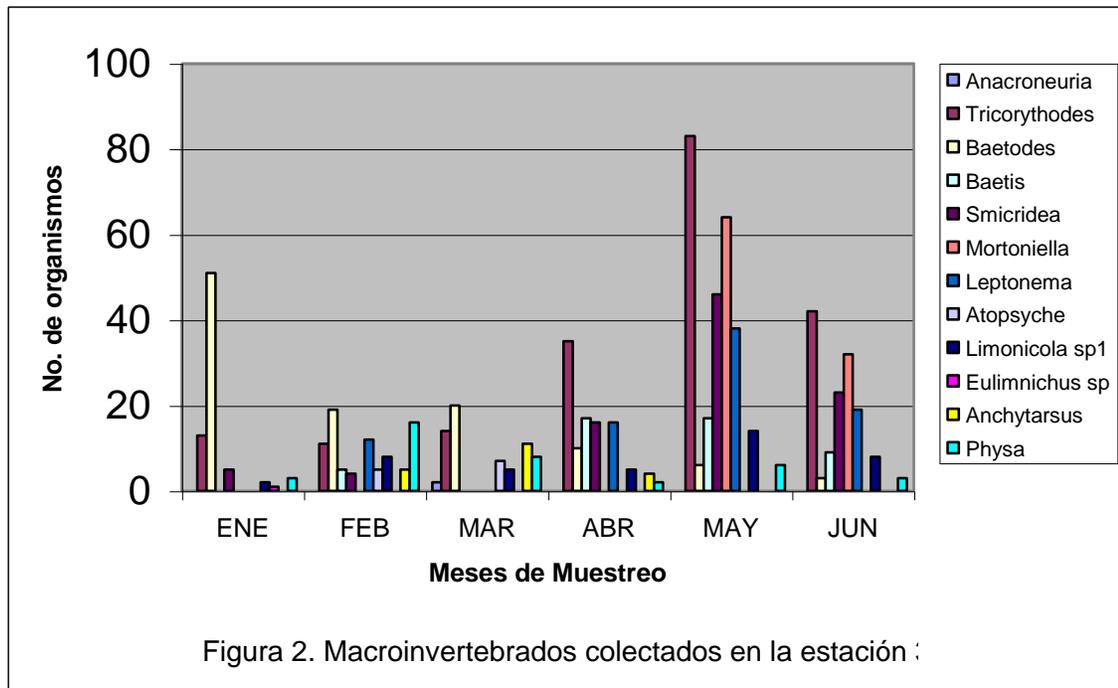
Aunque el embalsamiento del río para la construcción de la hidroeléctrica provoque cambios notorios en el cuerpo de agua, a nivel de la velocidad del agua, aumento de la sedimentación, pérdida de cobertura vegetal, alteraciones en los procesos de infiltración, cambio del sustrato, entre otros y se crea que los organismos característicos de sistemas lóticos no encuentran las condiciones óptimas para lograr poblar éste lugar; no es apropiado hablar de una baja diversidad o de una fuerte contaminación debido a la ausencia de registros en esta estación, ya que los parámetros fisicoquímicos registrados (ver página 79) demuestran que las condiciones del sitio son apropiadas para un normal desarrollo de la biota acuática.

### **7.1.3 Estación 3**

En esta estación se colectaron un total de 746 organismos pertenecientes a dos (2) phyla, dos (2) clase, seis (6) órdenes, diez (10) familias y doce (12) géneros (Tabla 5).

Tabla 5. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la estación 3

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOT		
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria			2				2		
			Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes	13	11	14	35	83	42	198	
		Trichoptera	Baetidae	Baetodes sp		51	19	20	10	6	3	109	
				Baetis sp			5		17	17	9	48	
			Hydropsychidae	Smicridea		5	4		16	46	23	94	
				Leptonema						64	32	96	
				Glossosomatida	Mortoniella			12		16	38	19	85
		Diptera	Hydrobiosidae	Atopsyche			5	7					12
				Blepharoceridae	Limonicola sp1	2	8	5	5	14	8	42	
				Limnymphidae	Eulimnichus sp	1							1
				Ptilodactylidae	Anchytarsus		5	11	4				20
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	Physa	3	16	8	2	6	3	38		
<b>TOTAL</b>					75	85	67	105	274	139	745		



Al igual que en la estación 1 el género más representativo es el *Tricorythodes* sp. con un 26.54% del total de la población colectada, el 14.61% pertenece al género *Baetodes* sp. del orden *Ephemeroptera*. Del orden *Trichoptera* encontramos los géneros *Leptonema* (12.86%), *Smicridea* (12.6%) y

*Mortoniella* (11.39), organismos característicos de aguas con mucha corriente, abundante vegetación y entre oligo a mesotróficas. Los organismos pertenecientes a los órdenes *Díptera*, *Coleóptera* y *Basommatophora* confirman la indicación de los órdenes con mayor proporción como lo son el *Ephemeroptera* y el *Trichoptera*.

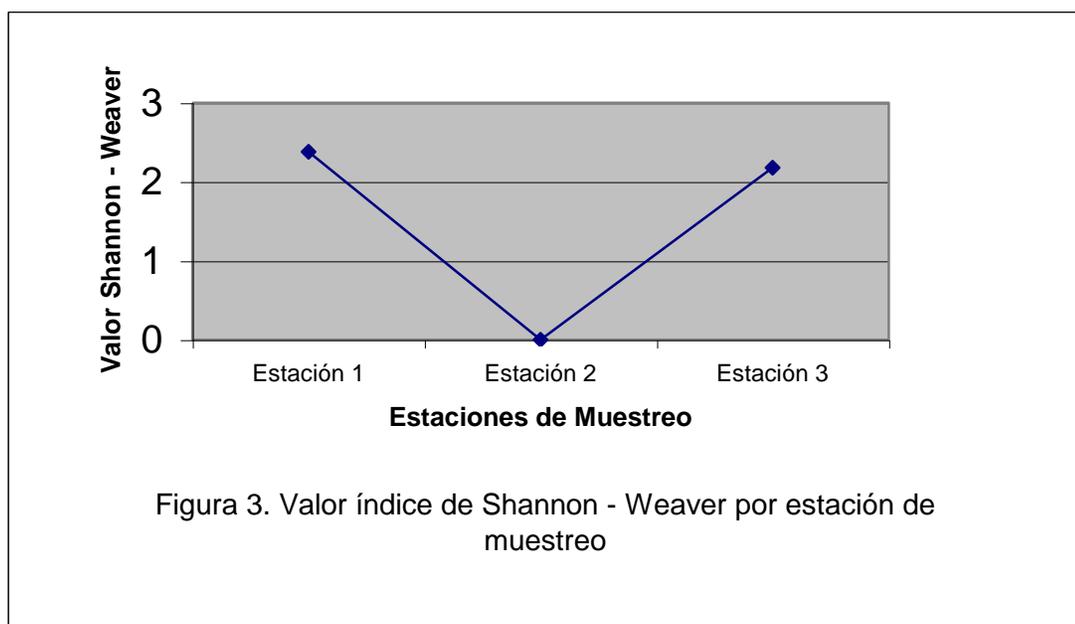
En la estación 3, aunque se encontró una población muy similar a la de la estación 1, se observa que hay muchos géneros que han desaparecido, así mismo que los organismos colectados se encuentran en menor proporción con relación a la primera zona de muestra, pero en alto con relación a la estación 2. Se observa también que se presenta un incremento de organismos durante la época de invierno (abril, mayo y junio) siendo el mes de mayo el de mayor presencia de macroinvertebrados acuáticos

De otra manera se puede deducir en base a los organismos colectados que la estación 3 ya inició su recuperación permitiendo ser poblada nuevamente por organismos característicos de sistemas lóticos y en éste caso por poblaciones que se encuentran en lugares de poca a mediana contaminación indicadores de aguas oligotróficas a mesotróficas.

## 7.2 INDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON – WEAVER

Tabla 6. Índice de Shannon-Weaver promedio por estación de muestreo

ESTACION DE MUESTREO	INDICE DE DIVERSIDAD	CARACTERISTICAS
1	2.38	Diversidad media
3	2.18	Diversidad media



### 7.2.1 Estación 1

El valor promedio para ésta estación fue 2.38 (Tabla 6, figura 3), lo que indica una mediana diversidad y a su vez un cuerpo de aguas con una contaminación media, situación que concuerda con el resultado de la colecta de macroinvertebrados acuáticos ya que los géneros encontrados en éste lugar corresponden a organismos pertenecientes a medios poco o medianamente contaminados. La contaminación a la que está expuesta ésta zona de estudio radica en los vertimientos domésticos desechados por algunas casas ubicadas en los alrededores del río. También debe tenerse en cuenta que éste sistema recibe afluentes como el río Grande (Coconuco), el cual recibe todos los desechos del pueblo y luego desemboca en el río Cauca, causando así cierto grado de contaminación.

### 7.2.3 Estación 3

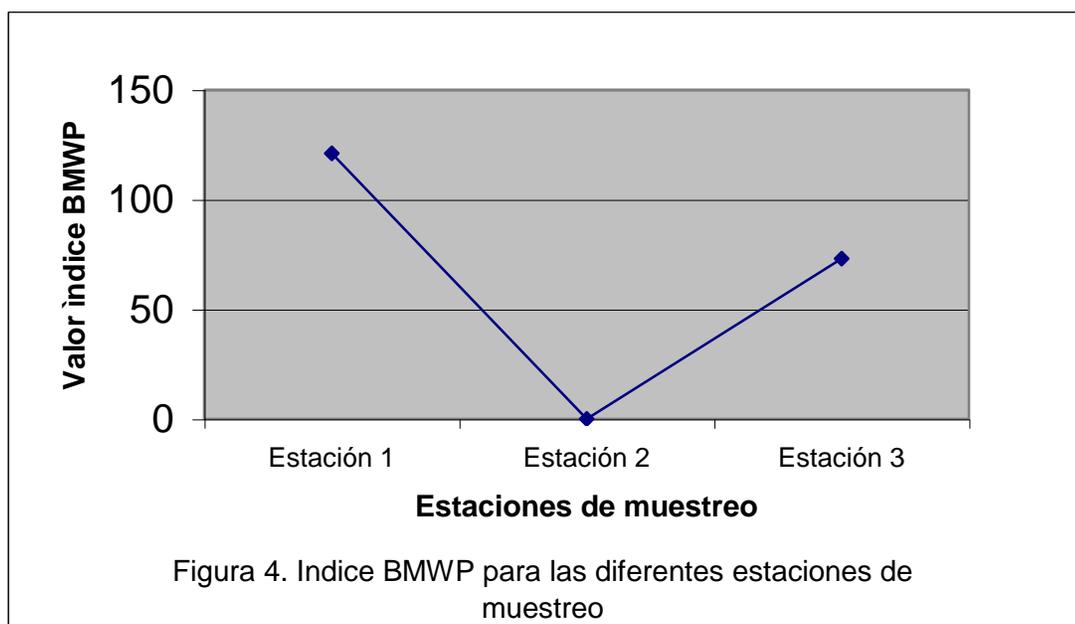
Al igual que la estación 1 se nota una mediana diversidad, en éste lugar se debe a que el río aún no logra recuperar sus características naturales ya que es la zona de descargue del embalse, esto hace que el sitio aún no este en las condiciones necesarias para la población de algunas comunidades.

De acuerdo con los resultados anteriores se logra establecer que las estaciones 1 y 3 aunque muy similares en su índice de diversidad no se debe a un mismo factor de contaminación. La estación 2 se ve claramente afectada, esto ratifica el grado de alteración que se ocasiono en esta parte del sistema debido a la construcción de la pequeña central hidroeléctrica Patico.

### 7.3 INDICE DE CALIDAD BMWP

Tabla 7. Índice BMWP calculado para las diferentes estaciones de muestreo

ESTACION	PUNTOS	CLASE	CALIDAD	CARACTERISTICA
1	121	II	Buena	Aguas limpias
3	73	III	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas



### 7.3.1 Estacion 1

Según el índice BMWP calculado para esta estación (121 puntos, Tabla 7) se clasifica en la clase II, observando que se encuentra en un estado de transición de calidad entre aguas buenas y muy buenas, con características de aguas limpias; según adaptación realizada por Zamora (1999).

### 7.3.2 Estación 3

El valor obtenido para esta estación en el índice de BMWP es de 73 puntos lo cual indica que se encuentra en la clase III, donde hay aguas medianamente contaminadas pero de calidad aceptable, según adaptación realizada por Zamora (1999).

De acuerdo a los datos obtenidos en las tres estaciones se observa que son totalmente diferentes, la estación 1 (clase II) presenta unas condiciones de calidad muy buenas lo cual confirma que las comunidades de macroinvertebrados allí establecidas son característicos de aguas oligotróficas y que aunque pueden tener un leve grado de contaminación,

éste no es verdaderamente considerable y se puede deducir que el río tiene un gran sistema de autorregulación. La estación 3 (clase III) aunque medianamente contaminada su calidad es aceptable, además se debe tener en cuenta que es una zona que con el tiempo se puede ir recuperando y llegar al nivel de la estación 1 en cuanto a calidad se refiere.

#### **7.4 MATRIZ INFLUENCIA – DEPENDENCIA**

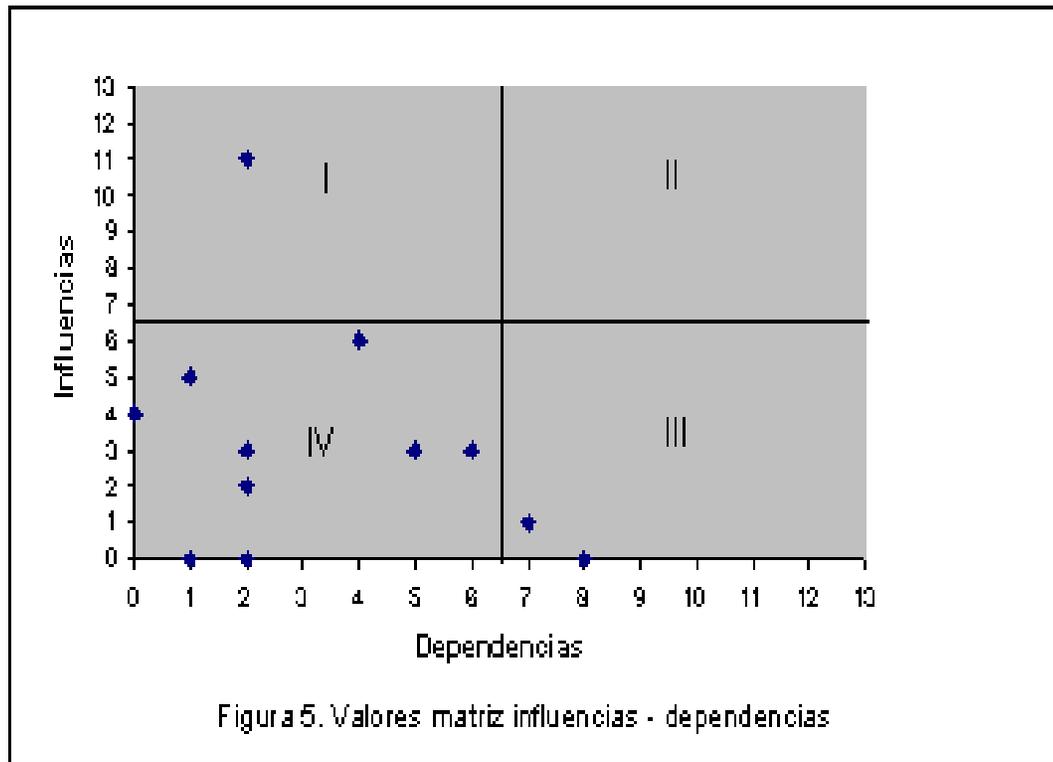
Para la elaboración de ésta matriz se seleccionaron 13 de los parámetros con mayor incidencia en la zona de estudio, a continuación se relacionan:

- Obras civiles
- Alteración del flujo y tabla de agua
- Erosión del cauce
- Cambios en la velocidad del agua
- Erosión de taludes
- Vertimientos domésticos
- Aumento de la sedimentación
- Alteración en los procesos de infiltración
- Pérdida de cobertura vegetal en el área de trabajo
- Alteración de la cuenca visual
- Valorización de los predios
- Utilización de mano de obra
- Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

Tabla 8. Matriz de Influencia - Dependencia

MATRIZ DE INFLUENCIAS DEPENDENCIAS	INFLUENCIA	OBRAS CIVILES - HIDROELECTRICA	ALTERACION FLUJO Y TABLA DE H <sub>2</sub> O	EROSION CAUCE	CAMBIOS DE VELOCIDAD DEL H <sub>2</sub> O	EROSION DE TALUDES	VERTIMIENTOS DOMESTICOS	AUMENTO DE LA SEDIMENTACION	ALTERACION PROCESOS INFILTRACION	PERDIDA DE COBERTURA AREA PROYECTO	ALTERACION DE LA CUENCA VISUAL	VALORIZACION DE PREDIOS	UTILIZACION DE MANO DE OBRA	ESTRUCTURA DE COMUNIDAD DE MAE	Σ D
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<b>DEPENDENCIA</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
OBRAS CIVILES	1	X				√			√						2
ALTERACIÓN FLUJO Y TABLA DE H <sub>2</sub> O	2	√	X		√	√	√		√						5
EROSION DEL CAUCE	3	√		X	√										2
CAMBIOS DE VELOCIDAD DEL H <sub>2</sub> O	4	√	√		X	√		√							4
EROSION DE TALUDES	5	√	√		√	X				√					4
VERTIMIENTOS DOMESTICOS	6						X								0
AUMENTO DE LA SEDIMENTACION	7	√		√	√	√	√	X		√					6
ALTERACIÓN PROCESOS DE INFILTRACIÓN	8	√							X	√					2
PERDIDA DE COBERTURA AREA DE PROYECTO	9	√								X					1
ALTERACIÓN DE LA CUENCA VISUAL	10	√		√	√	√	√	√		√	X				7
VALORIZACIÓN DE PREDIOS	11	√									√	X			2
UTILIZACIÓN MANO DE OBRA	12	√											X		1
ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MAE	13	√	√	√	√	√	√	√		√				X	8
Σ I		11	3	3	6	6	4	3	2	5	1	0	0	0	

Fuente: Evaluación de Impacto ambiental un instrumento para el desarrollo



#### 7.4.1 Cuadrante I

En este cuadrante se agrupan variables de mucha influencia y poca dependencia, son situaciones de mayor fuerza cualitativa del sistema. La acción directa de la variable produce cambios sustanciales en el sistema a corto plazo.

La única variable que se encuentra en este cuadrante son las obras civiles, esta situación influye directamente sobre la mayoría de las condiciones del sistema lo que la hace la principal responsable de todos los cambios o transformaciones que sufrió el río y sus alrededores en ésta parte de su recorrido normal.

Al construirse la central hidroeléctrica se produjeron una serie de cambios en ésta parte del río que hizo que perdiera no solo sus características naturales sino que además muchas de las condiciones del ambiente también se vieran

afectadas, condiciones que se analizaran posteriormente para conocer su grado de dependencia y su posible recuperación.

#### **7.4.2 Cuadrante II**

Aquí se encuentran las variables que influyen en gran medida sobre el sistema y dependen del mismo, son variables de mucho cuidado y se deben analizar bajo dos parámetros

- El potencial de actuar directamente sobre ellos
- El potencial de incidir significativamente sobre muchas acciones

En este cuadrante no encontramos variables, lo que indica que no existen factores afectados y que a su vez afecten al sistema.

#### **7.4.3 Cuadrante III**

En el cuadrante III se ubican las variables que resultan de difícil manejo por su alto grado de dependencia.

Aquí encontramos dos variables de gran importancia, la primera se trata de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Tabla 8), situación de mucho cuidado ya que fue la mayor afectada por causa de la construcción del embalse debido a que el río perdió muchas de sus características naturales lo cual dio como consecuencia el cambio notable en ella, esto se observa en los resultados obtenidos de la colecta realizada durante la época de muestreo .

De igual manera se observa que el río vuelve a ser poblado aunque ya no en la totalidad por los mismos organismos que se encuentran en zonas dónde no han ocurrido cambios. Esto debido a que las condiciones en las que se

encuentran ahora no son propicias para que la habiten algunos géneros que ya no encuentran los mismos nutrientes o el mismo nivel de calidad del agua para habitarla (Tabla 4 y 5).

Debido a todos estos cambios y a la transformación sufrida por el río al ser embalsado en esa zona no se encuentra ningún tipo de organismos lo cual nos confirma que no solamente la parte ambiental fue impactada sino que esto conlleva a una emigración biológica, en cuanto a comunidades de macroinvertebrados acuáticos se refiere.

La segunda variable importante ubicada en este cuadrante es la alteración de la cuenca visual (Tabla 8), la cual se da como resultado del cambio de muchos factores en esta parte del río (estación 2) ya que son muy notorios tanto a nivel externo (pérdida de vegetación, erosión de taludes, cambios en la velocidad del agua, entre otros) como a nivel interno (alteración de la sedimentación, cambio del sustrato, alteración en los procesos de infiltración). Es una variable de mucho cuidado por su alto grado de dependencia y poca influencia.

#### **7.4.4 Cuadrante IV**

Aquí se encuentran las variables de poca influencia, situaciones coyunturales o de muy corto plazo, son las más resistentes al cambio.

Dentro de éste cuadrante se encuentran la mayor parte de las variables, algunas más afectadas que otras pero que en conjunto hacen que el sistema haya sufrido y siga sufriendo cambios.

La parte ambiental se vio afectada por la construcción de la central hidroeléctrica, se observa la erosión de los taludes, la pérdida de cobertura en ésta área, los procesos de infiltración se alteraron, el cauce presenta

erosión y se aumentó la sedimentación. Sin embargo resultan dos variables positivas, una de ellas la utilización de la mano de obra, que hace que genere empleo a personas del sector, aunque momentáneamente y la otra la valorización de predios, factor muy importante para los habitantes de esa zona.

## **7.5 CARACTERIZACION FISICOQUÍMICA HÍDRICA**

### **7.5.1 Temperatura**

#### **7.5.1.1 Temperatura ambiente**

El promedio registrado para la estación 1 fue 15.9 °C (en un rango ente 14.4 °C y 17.5 °C), factor explicable debido a la altura en la que se encuentra (entre 2000 y 2150 msnm), y a las características de la zona (abundante vegetación, bastante flujo de agua, sustrato rocoso de poca profundidad).

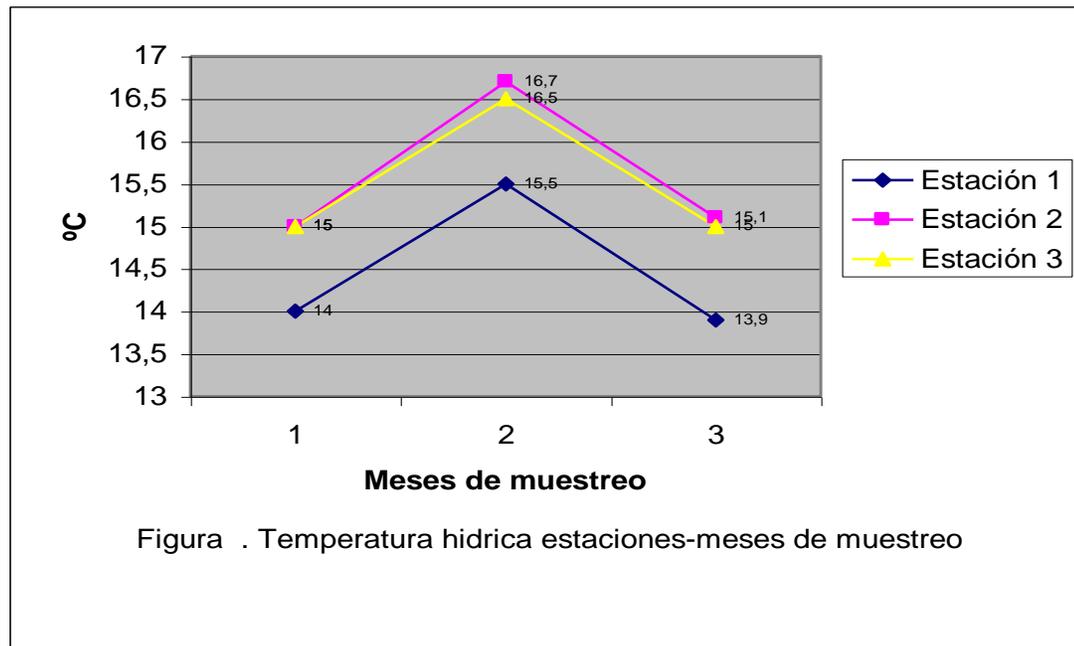
Para la estación 2 y 3 el promedio obtenido fue de 16.3 °C y 16.5 °C respectivamente, se puede deber a que en estas zonas se perdió gran parte de cobertura vegetal lo que hace que los rayos de luz penetren directamente, aunque puede ser un factor momentáneo.

La temperatura mas alta se obtuvo en el mes de febrero, época de verano en esta zona, y la mas baja en el mes de mayo, época de invierno.

#### **7.5.1.2 Temperatura hídrica**

En la estación 1 el promedio es de 14.4 °C, en un rango de 13.9 °C a 15.5 °C, factor explicable por la poca profundidad del río en esta zona lo cual permite la conservación del calor y una buena mezcla, por lo tanto se puede afirmar que no existe una estratificación térmica permitiendo así el normal

desarrollo de la biota acuática, ya que no se verán alterados sus procesos metabólicos.



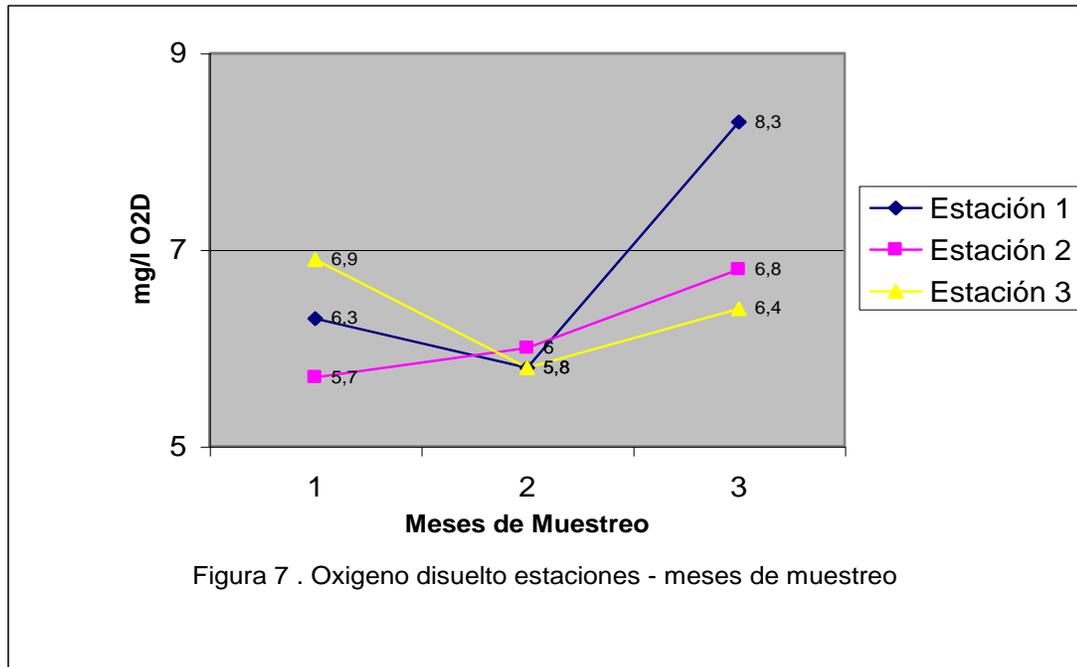
En la estación 2 y 3 el promedio es de 15 °C al igual que la temperatura ambiente no se produjo gran diferencia entre estos dos sitios como consecuencia a que la estación 3 es donde se inicia el descargue del embalse, eso hace que las características sean muy similares.

### 7.5.2 Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno

En aguas naturales las concentraciones de O<sub>2</sub>D están variando permanentemente debido a los procesos fisicoquímicos y biológicos que se dan continuamente.

En la estación 1 durante la época de verano se presentó un promedio de 6 mg/L de O<sub>2</sub>D con un % de saturación de 67%, incrementando en la época de invierno con 8.3mg/L y % de saturación de 80%, siendo éste último un valor

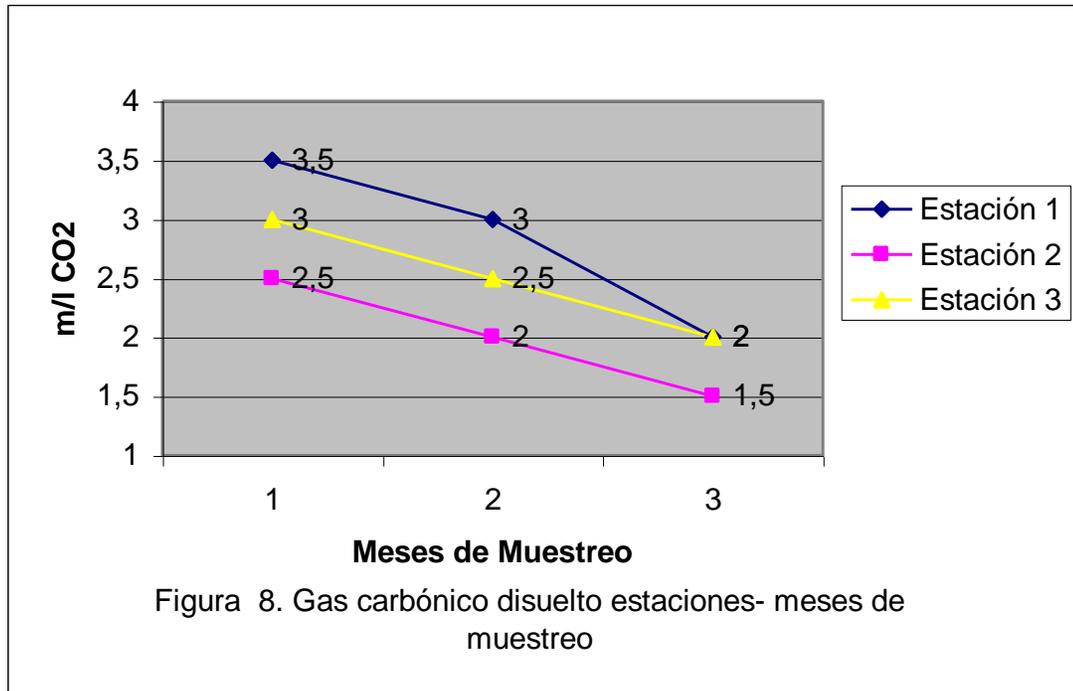
óptimo para el normal desarrollo de la biota acuática. El aumento de caudal (15.38 m<sup>3</sup>/s) y la velocidad de la corriente del río como consecuencia a la época de invierno permite mayor cambio de O<sub>2</sub> entre el medio atmosférico y la fuente de agua, esto quiere decir que hay mayor oxigenación de la misma.



En la estación 2 se presentó un promedio de 6 mg/L de O<sub>2</sub>D, siendo en la época de invierno un poco mas alto (6.8mg/L). Esto puede ser explicado ya que aunque esta estación es la parte embalsada del río se presenta poca velocidad de corriente, con respecto a la estación 1 y la estación 3, lo cual permite el intercambio de O<sub>2</sub>D entre el cuerpo de agua y el medio atmosférico.

En la estación 3, que es la parte donde el río inicia a tomar sus características naturales (velocidad de corriente) los datos obtenidos no presentan diferencia significativa con respecto a la estación 2.

### 7.5.3 Gas carbónico disuelto (CO<sub>2</sub>)

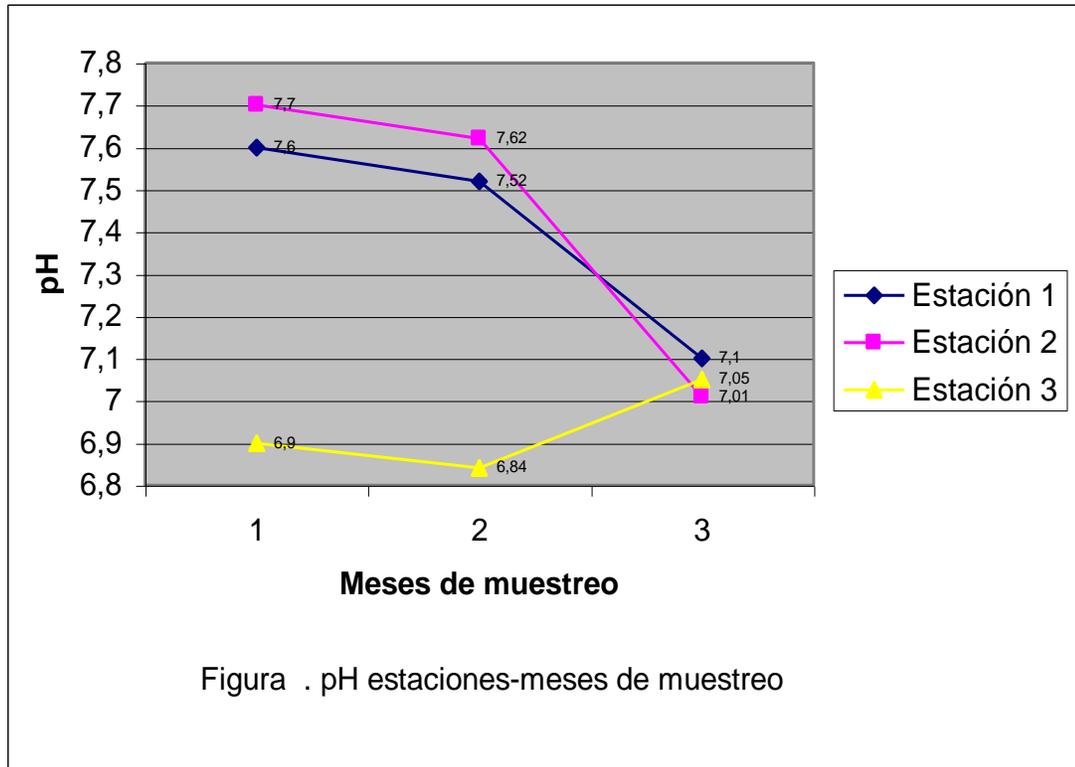


Según Roldan (1992), valores superiores a 20 mg/L se consideran limitantes para el normal desarrollo de la biota acuática. El promedio de CO<sub>2</sub> encontrado en las tres estaciones es de 2mg/L resultado indicador de buena condición para este proceso ya que no se presenta descomposición orgánica que este limitando las condiciones de ciclos biológicos.

Los valores de CO<sub>2</sub> mas bajos se encontraron en el mes de mayo, esto se puede deber a las lluvias presentes por la época de invierno.

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> registradas son congruentes con los altos % de saturación de O<sub>2</sub> que se presenta, lo cual es un indicador del estado oligotrófico de la zona de estudio.

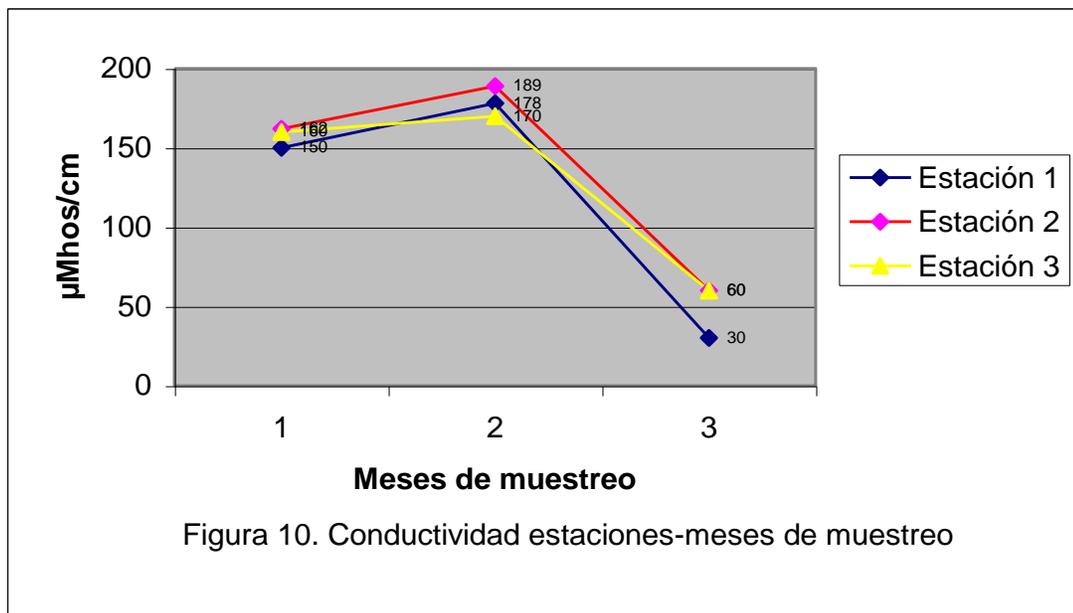
### 7.5.4 pH



Los valores registrados para este parámetro no presentan grandes fluctuaciones, con un valor promedio de 7.26, un mínimo de 6.94 y con un máximo de 7.44. Estos datos están dentro de los valores apropiados para el normal desarrollo de la biota acuática (7.2-7.4), ya que se encuentra dentro de este rango, valor que esta dado por el sistema “buffer” ( $\text{HCO}_3^-$ ) y algo de alcalinidad ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

La tendencia a valores de pH altos están relacionados con las bajas concentraciones de  $\text{CO}_2$  disuelto presente en las tres estaciones.

### 7.5.5 Conductividad



El valor promedio obtenido para la conductividad en la estación 1 fue 119  $\mu\text{Mhos/cm}$  (con un rango de 30 a 178  $\mu\text{Mhos/cm}$ ). En la estación 2 el promedio fue 137  $\mu\text{Mhos/cm}$  (con un rango de 60 a 180  $\mu\text{Mhos/cm}$ ) y la estación 3 presentó un promedio de 130  $\mu\text{Mhos/cm}$  (con un rango de 60 a 170  $\mu\text{Mhos/cm}$ ). Estos valores se hallan dentro del rango de aguas de naturaleza tróficas.

Los valores mas bajos de conductividad se presentaron en el mes de mayo, época de invierno, debido a que las lluvias hacen que la concentración de iones presentes disminuyan con respecto a la época de verano, impidiendo así que haya una mayor actividad iónica.

Para los siguientes parámetros se realizó una muestra compuesta en el laboratorio de Recursos Hidrobiológicos Continentales, con la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

### **7.5.6 Acidez total**

Este parámetro está estrechamente relacionado con los procesos degradativos y al igual que el parámetro anterior es un factor limitante para el normal desarrollo de la biota acuática. El promedio de la acidez total es de 3.8 mg CaCO<sub>3</sub>/L con un máximo de 4.0 mg CaCO<sub>3</sub>/L obtenidos en los sitios 1 y 2 y un mínimo de 3.5 mg CaCO<sub>3</sub>/L obtenido en el sitio 3. Este valor marcado fundamentalmente por la presencia de CO<sub>2</sub> mas que por presencia de acidez mineral.

### **7.5.7 Alcalinidad total**

Según Roldan(1992), debido a que los valores de pH de las tres estaciones están por debajo de 8.3 unidades, en las tres estaciones la alcalinidad está determinada por bicarbonatos.

El valor promedio de alcalinidad encontrado fue 15 mgCaCO<sub>3</sub>/L, esto indica que el sistema es propenso a los cambios de pH y que por lo tanto no tiene una buena capacidad para mantener procesos biológicos, productividad sostenida y duradera, factor que explica la baja estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en las tres estaciones.

### **7.5.8 Dureza total y dureza carbonácea**

La estación 1 presenta un promedio de 69.28 mgCaCO<sub>3</sub>/L de dureza total , la estación 2 un promedio de 74.76 mgCaCO<sub>3</sub>/L y la estación 3 con un promedio de 85.44 mgCaCO<sub>3</sub>/L, según esto las aguas de estas estaciones se clasifican para propósitos sanitarios como semiduras, lo cual indica que las tres estaciones de muestreo presenta aguas poco productivas.

La dureza carbonácea promedio para la estación 1 (67.5 mgCaCO<sub>3</sub>/L) corresponde al 97.43% de la dureza total promedio en esta estación. El valor promedio de la dureza carbonácea para la estación 2 (73 mgCaCO<sub>3</sub>/L) corresponde al 97.64% de la dureza total promedio en esta estación y la estación 3 el valor promedio de la dureza carbonácea (83 mgCaCO<sub>3</sub>/L) corresponde al 97.14% de la dureza total promedio. Dichos valores indican que en las tres estaciones de muestreo existe una buena capacidad amortiguadora.

### **7.5.9 Amonio, Nitritos y Nitratos**

El promedio de amonio registrado en la estación 1 fue 0.35mg/L, en la estación 2, 2 mg/L y la estación 3 presentó un promedio de 0.2 mg/L.

En cuanto a Nitritos la estación 1 tuvo un promedio de 0.035 mg/L, la estación 2 un promedio de 0.2 mg/L y la estación 3 un promedio de 0.02 mg/L.

En ambos parámetros se observa el incremento en la estación 2. Según, Vásquez (2001), niveles de amonio superiores a 0.5 mg/L y de nitritos superiores a 0.05 mg/L se consideran limitantes para el normal desarrollo y distribución de macroinvertebrados acuáticos. Esto explica la no existencia de comunidades de macroinvertebrados en la estación 2 ya que los registros de amonio (2 mg/L) y nitritos (0.2 mg/L) encontrados en este sitios sobrepasan los valores mínimos permitidos.

## 8. CONCLUSIONES

- ✓ La estación 1 y 3 tienen en común organismos pertenecientes a dos (2) phyla, dos (2) clase, seis (6) órdenes, diez (10) familias y doce (12) géneros; Mientras que en la estación 2 no se logró la captura de ningún tipo de organismo.
- ✓ En la estación 1 se encontraron 7 familias mas de macroinvertebrados acuáticos que en la estación 3, debido a que esta parte del río no sufrió ningún cambio drástico como lo es la construcción de un dique para retener agua como sucedió en la estación 2 y por consiguiente la estación 3 también se ve afectada.
- ✓ El recorrido normal del río Cauca se vio fragmentado debido a la construcción de la central hidroeléctrica Patíco, produciendo una serie de cambios en las características propias de un sistema lótico, dejando una serie de alteraciones ambientales y biológicas en esta parte del cuerpo de aguas.
- ✓ Aunque fue necesaria la ubicación de un sustrato artificial para la colecta de macroinvertebrados acuáticos en la zona embalsada (estación 2), no se logro la captura de ningún organismo, aquí se deben tener varios puntos en cuenta como lo es el tipo de sustrato el cual parece no fue el óptimo para éste tipo de muestreo, además el tiempo de muestreo en esta estación no fue el suficiente para que se lograra poblar y así obtener algunos resultados.

- ✓ El índice de diversidad de Shannon – Weaver para las estaciones 1 y 3 se encuentra dentro del rango de diversidad media y aguas medianamente contaminadas, resultados directamente relacionados con los organismos colectados en estas zonas que confirman esta situación. Para el resultado de la estación 2, debido a la falta de datos no se analiza con las tablas adaptadas para Colombia porque el resultado sería muy crítico y no correspondería con lo obtenido en los parámetros físicoquímicos, ya que no es correcto decir que hay una contaminación y no tener en cuenta otros factores como por ejemplo el tipo de sustrato utilizado.
  
- ✓ Se deduce que la mediana contaminación existente en la estación 1 se debe a los vertimientos domésticos desechados por las casas asentadas a los alrededores del cuerpo de agua y a la desembocadura de afluentes sobre él como lo es el río Grande, el cual llega con cierto grado de contaminación ya que recibe los desechos del pueblo de Coconuco, entre otras cosas. De otra manera la contaminación existente en la estación 3 está más relacionada con el embalse debido a que en esta parte del río se produce la descarga del mismo.
  
- ✓ El índice de calidad biológica BMWP, clasifica a la estación 1 en la clase II, característica de aguas limpias de buena calidad; y a la estación 3 en la clase III, perteneciente a aguas medianamente contaminadas y de calidad aceptable. Se observa claramente las diferentes problemáticas que se presentan en el sistema a lo largo de esta zona de estudio.

- ✓ Al elaborarse la matriz de influencias – dependencias se encontró que la variable principal de mayor influencia es la obra civil (construcción y permanencia de la central hidroeléctrica Patico) sobre el río Cauca; la acción directa de ésta variable produjo cambios notorios sobre el sistema afectando condiciones naturales del ambiente.
- ✓ La matriz de influencias – dependencias concluye que las variables de mayor grado de alteración debido a su nivel de dependencia son la estructura de la comunidad y la alteración de la cuenta visual.
- ✓ La estación 3 presenta una leve recuperación en cuanto a la estructura de macroinvertebrados acuáticos, respecto a la estación 2, esto como resultado de la recuperación de las características naturales de un sistema lótico en esta zona.
- ✓ Las alteraciones en el cauce del río, el poder erosivo del agua y las descargas irregulares de la central hidroeléctrica asociadas a otras causas, producen variaciones fisicoquímicas afectando el establecimiento de las poblaciones de macroinvertebrados.
- ✓ La temperatura ambiental e hídrica presentan un comportamiento directamente proporcional entre ambas, lo que indica que la columna de agua no presenta estratificación térmica y por lo tanto favorece el normal desarrollo de la biota acuática, ya que no se ven alterados sus procesos metabólicos.

- ✓ Para las tres estaciones los resultados obtenidos de O<sub>2</sub>D se incrementaron durante la época de invierno como consecuencia del aumento de caudal y la velocidad de corriente, lo que permite un mayor intercambio de O<sub>2</sub> entre el medio atmosférico y el cuerpo de agua.
- ✓ El pH promedio para las tres estaciones (7.26) se encuentra dentro del rango fisiológicamente óptimo para el normal desarrollo de la biota acuática (7.0 – 7.4), valor dado por el sistema “buffer” (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). El pH ligeramente básico es congruente con el valor de gas carbónico disuelto encontrado.
- ✓ La dureza total clasifica las aguas del río Cauca en ésta zona para propósitos sanitarios como aguas semiduras, lo cual indica que las tres estaciones de muestreo presentan aguas poco productivas.
- ✓ Los valores reportados para dureza carbonácea indican la buena capacidad amortiguadora del sistema en las tres estaciones, además de la buena capacidad de mantener en equilibrio los procesos biológicos permitiendo así el normal desarrollo de la biota acuática.
- ✓ La caracterización de los parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos permitió comparar las estaciones y determinar que el río Cauca sufrió grandes alteraciones en su recorrido normal debido a la construcción de la central hidroeléctrica Patico. La elaboración de la matriz de influencias - dependencias confirma esta hipótesis al determinar que la variable de mayor influencia es la obra civil (hidroeléctrica), generando todo un cambio en el ambiente en esta parte del río (Estacion 2).

## 9. RECOMENDACIONES

- ❑ Continuar el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos, biológicos y ambientales en la zona del embalse y río Cauca, para detectar a tiempo cambios que causen deterioro del ecosistema y plantear así posibles soluciones.
- ❑ Reforestar las cuenca del río, afluentes y zonas aledañas al embalse, con el fin de evitar la erosión y un mayor aporte de sedimentos que pueden ocasionar mayor alteración en el cuerpo de agua y acortar la vida útil del embalse.
- ❑ Utilizar todo tipo de sustrato o método necesario para lograr la captura de organismos en sitios embalsados o de difícil acceso.
- ❑ Donde sea inminente la construcción de un embalse, se hace necesario investigar la dinámica del sistema, la temperatura, pH, entre otros, y los factores culturales, para que las poblaciones humanas obtengan el máximo beneficio con un mínimo de riesgo ambiental.
- ❑ Realizar proyectos con éste tipo de problemática, con el fin de contribuir al conocimiento relacionado con los efectos causados sobre los recursos hídricos debido a la construcción de obras civiles sobre ellos.

- Para este tipo de proyectos, especialmente embalses, realizar muestreos durante periodos mas largos, con el fin de dar seguimiento a los cambios tanto positivos como negativos que se puedan presentar y dar soluciones oportunas a estos.

## BIBLIOGRAFÍA

**ARMITAGE**, P.D.; **MOSS**, D.; **WRIGHT**, J.F. & **FURSE**, M.T. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res.* 17: 33- 347. 1983

**BENITEZ** López, Jimena y **MONDRAGÓN** Sandoval, Gilda Yazmín. Determinación del grado de contaminación del río Pambio Municipio de Tímbo, con base en la identificación de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y las condiciones fisicoquímicas. Popayán, 2000. Trabajo de grado. Fundación Universitaria de Popayán, Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Ecología.

**BOHORQUEZ** A., **ARDILA** J., y **FRANCO** L. A. Contribución al estudio Limnológico por bioindicación con macroinvertebrados bentónicos en aguas continentales de Colombia. Fase I, río Bogotá. En: *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. Vol. 7, no. 1-2 (Dic. 1993); p. 56-59.

**BOYD**, Claude. *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama agricultural experiment station. Department of fisheries and allied aquacultures. Auburn University, Auburn, Alabama. USA., 1992

**CANOSA**, A. Y **PINILLA**, G. Indicadores bacteriológicos de eutroficación en los embalses de Chuza, Neusa y Tominé y en la laguna de Chingaza. Centro de Investigaciones Científicas. Universidad Jorge Tadeo Lozano. COLCIENCIAS. Informe Final. Santafé de Bogotá, 1995. p. 222

**CASTILLO** Sánchez, Mauricio y **ZAMORA** González, Hilldier. Evaluación del efecto generado por la extracción de arena sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad físico-química del agua, en el río los Robles, departamento del Cauca. Popayán, 1999. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Instituto de Estudios de Postgrado.

**CEDELCA S.A. – GERS. Ltda.**. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Patico – La Cabrera. 1995.

**CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA**. Esquema de Ordenamiento Territorial municipio : Puracé – Cauca. Popayán : CRC Tomo II. 2000.

**FERNÁNDEZ**, Enna Vilma; **CASTRO**, José Antonio. Niveles de alteración del río Blanco (altiplano de Popayán) con base en sus características fisicoquímicas y comunidades bénticas. Popayán, 1996. Trabajo de grado. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología.

**FIGUEROA** Casas, Apolinar; **CONTRERAS** Rengifo, Rafael; **SÁNCHEZ** Díaz, Juan. Evaluación de impacto ambiental un instrumento para el desarrollo. Cali. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. 1998. p. 125 – 134

**LOAIZA, J.** Estudio de la estructura y distribución del orden Ephemeroptera en las cuencas de los ríos Ovejas y Piendamó y su relación con la calidad del agua. Cali, 1994. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Valle.

**MARGALEF, Ramón.** Ecología. España: Ediciones Omega S.A, 1998

**MARGALEF, Ramón.** Limnología. España: Ediciones Omega S.A, 1983

**MASON, C.F.** Biología de la contaminación del agua dulce. Editorial Alambra. 1ª edición en español. Madrid, 1984. p. 289

**MUÑOZ, M. y ARIAS, C.** Estudio de la fauna de macroinvertebrados acuáticos con énfasis en el orden Ephemeroptera (Insecta) de los ríos Blanco, Hondo, Molino y Palacé del Altiplano de Popayán. Popayán, 1994. Trabajo de grado (Licenciado en Educación, especialidad Biología). Universidad del Cauca.

**NAUNDORF** Sanz, Gerardo; **VASQUEZ** Zapata, Guillermo León y **ZAMORA** González, Hildier. Niveles de alteración del río Ejido con base en sus características fisicoquímicas y biológicas. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología. Popayán, 1982.

**PELLEGRINI** Hernández, P. Uso de índices de diversidad en poblaciones de invertebrados bentónicos como indicadores de contaminación en la Bahía de Topolobampo, Sinaloa, México. Universidad de Occidente, Departamento de Biología.

**PINILLA** A., Gabriel A. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia, Compilación bibliográfica. Santafé de Bogotá, 1998. Centro de Investigaciones Científicas. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. P. 11-13, 40.

**ROLDAN** Pérez, Gabriel. Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia. FEN – COLCIENCIAS, 1988.

\_\_\_\_\_. Limnología y eutrofización de embalses en Colombia, segunda circular. Río Negro, Antioquia. 1992.

\_\_\_\_\_. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. FEN – COLCIENCIAS. 1992.

\_\_\_\_\_. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Volumen 23(88): 375-387, 1999.

**VASQUEZ** Zapata, Guillermo León; **ZAMORA** González, Hilldier. Y **NAUNDORF** Sanz, Gerardo. Estudio Limnológico del río Cauca, sector embalse de la Salvajina – puente El Hormiguero. Popayán: Universidad del Cauca, 1991.

**VILLALOBOS**, J.A. y **ALBENDIZ**, L.G. Control Biológico de la contaminación del agua.

**ZAMORA** González, Hilldier. 1994. Aspectos bioecológicos de las comunidades de Macroinvertebrados dulceacuícolas en el Departamento del Cauca. En: Unicauca-Ciencia. Vol. 1 (mar. 1996); p. 1-11.

\_\_\_\_\_ . Niveles de alteración de las comunidades de Macroinvertebrados acuáticos del río Molino, por efecto de las actividades antrópicas y la contaminación doméstica. Popayán: Universidad del Cauca, 1996.

\_\_\_\_\_ . Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. En: Unicauca-Ciencia. Vol. 4 (mayo 1999); p. 47-57.

# **ANEXOS**

## DATOS MACROINVERTEBRADOS

ENERO 4 DE 2003

Tabla 9. Organismos colectados en la estación 1

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes Sp.	38
Ephemeroptera	Tricorythidae	Leptohyphes Sp.	25
Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	7
Coleóptera	Limnychidae	Eulimnichus Sp.	1
Basommatophora	Physidae	Physa	1
		TOTAL	52

Tabla 10. Organismos colectados en la estación 3

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	19
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	13
Coleóptera	Limnychidae	Eulimnichus Sp.	1
Basommatophora	Physidae	Physa	1
		TOTAL	34

ENERO 18 DE 2003

Tabla 11. Organismos colectados en la estación 1

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	4
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes sp.	2
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	2
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	12
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	16
Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	5
Diptera	Blepharoceridae	Limnicola sp1	5
Basommatophora	Physidae	Physa	11
		TOTAL	57

**Tabla 12. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	32
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	5
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp 1	2
Basommatophora	Physidae	Physa	2
		TOTAL	41

**FEBRERO 1 DE 2003****Tabla 13. Organismos colectados en la estación 1**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	66
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	4
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Terpides sp.	1
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	6
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	1
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp 1	4
		TOTAL	82

**Tabla 14. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	6
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	1
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	12
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	4
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp 1	8
Basommatophora	Physidae	Physa	16
		TOTAL	47

## FEBRERO 15 DE 2003

**Tabla 15. Organismos colectados en la estación 1**

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria Sp.	1
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	10
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	12
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis Sp.	6
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	3
Trichoptera	Hydroptilidae	Ochrotrichia	8
Trichoptera	Philopotamidae	Chimarra	1
Diptera	Blepharoceridae	Limnicola sp 1	9
Basommatophora	Physidae	Physa	2
		TOTAL	52

**Tabla 16. Organismos colectados en la estación 3**

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	13
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	10
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	5
Trichoptera	Hydrobiosidae	Atopsyche	5
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	5
		TOTAL	38

## MARZO 8 DE 2003

**Tabla 17. Organismos colectados en la estación 1**

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	11
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Terpides sp.	7
Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	5
Trichoptera	Hydroptilidae	Ochrotrichia	4
Coleóptera	Elmidae	Heterelmis sp.	6
Coleóptera	Limnychidae	Eulimnichus sp.	9
Basommatophora	Physidae	Physa	5
		TOTAL	47

**Tabla 18. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	1
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	12
Trichoptera	Hydrobiosidae	Atopsyche	7
Diptera	Blepharoceridae	Limnicola sp 1	5
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	6
Basommatophora	Physidae	Physa	3
		TOTAL	34

**MARZO 22 DE 2003****Tabla 19. Organismos colectados en la estación 1**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	2
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	13
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Terpides sp.	7
Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	5
Trichoptera	Hydroptilidae	Ochrotrichia	4
Coleóptera	Elmidae	Heterelmis sp.	7
Coleóptera	Limnychidae	Eulimnichus sp.	5
Basommatophora	Physidae	Physa	3
		TOTAL	46

**Tabla 20. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	1
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	14
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	8
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	5
Basommatophora	Physidae	Physa	5
		TOTAL	33

## ABRIL 12 DE 2003

**Tabla 21. Organismos colectados en la estación 1**

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	4
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes sp.	5
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	13
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	6
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	9
Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	11
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	12
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	5
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	4
		TOTAL	69

**Tabla 22. Organismos colectados en la estación 3**

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	7
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	8
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	5
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	9
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	3
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	2
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	4
		TOTAL	38

## ABRIL 30 DE 2003

**Tabla 23. Organismos colectados en la estación 1**

ORDEN	FAMILIA	GENERO	CANTIDAD
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	8
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	16
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	6
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	2
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	22
Trichoptera	Hydrobiosidae	Leptonema	7
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	11
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	6
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	2
		TOTAL	80

**Tabla 24. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	28
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	9
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	5
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	13
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	7
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	3
Basommatophora	Physidae	Physa	2
		TOTAL	67

**MAYO 10 DE 2003**

**Tabla 25. Organismos colectados en la estación 1**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	8
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes sp.	15
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	43
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	6
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	2
Trichoptera	Hydrobiosidae	Atopsyche	3
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	52
Trichoptera	Hydrobiosidae	Leptonema	10
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	16
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	7
Diptera	Tipulidae	Tipula (Bellardina sp.)	1
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	2
		TOTAL	165

**Tabla 26. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	23
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	6
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	2
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	42
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	12
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	7
Basommatophora	Physidae	Physa	2
		TOTAL	94

**MAYO 28 DE 2003**

**Tabla 27. Organismos colectados en la estación 1**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	9
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes sp.	17
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	80
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	11
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	4
Trichoptera	Hydrobiosidae	Atopsyche	6
Trichoptera	Hydrobiosidae	Leptonema	10
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	74
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	36
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	13
Diptera	Tipulidae	Tipula (Bellardina sp.)	2
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	2
Coleóptera	Psephenidae	Psephenops sp.	2
		<b>TOTAL</b>	<b>266</b>

**Tabla 28. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	60
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	11
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	4
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	4
Trichoptera	Hydrobiosidae	Leptonema	64
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	26
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	7
Basommatophora	Physidae	Physa	4
		<b>TOTAL</b>	<b>180</b>

**JUNIO 11 DE 2003**

**Tabla 29. Organismos colectados en la estación 1**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	4
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes sp.	8
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	22
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	3
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	1
Trichoptera	Hydrobiosidae	Atopsyche	2
Trichoptera	Hydrobiosidae	Leptonema	5
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	26
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	8
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	4
Diptera	Tipulidae	Tipula (Bellardina sp.)	1
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	1
		<b>TOTAL</b>	<b>85</b>

**Tabla 30. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	12
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	3
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	1
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	21
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	6
Diptera	Blepharoceridae	Limonicola sp1	4
Basommatophora	Physidae	Physa	1
		<b>TOTAL</b>	<b>48</b>

**JUNIO 25 DE 2003**

**Tabla 31. Organismos colectados en la estación 1**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria sp.	4
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes sp.	9
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	40
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	6
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	2
Trichoptera	Hydrobiosidae	Atopsyche	3
Trichoptera	Hydrobiosidae	Leptonema	5
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	37
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	18
Diptera	Blepharoceridae	Limnicola sp1	7
Diptera	Tipulidae	Tipula (Bellardina sp.)	1
Coleóptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	1
Coleóptera	Psephenidae	Psephenops sp.	1
		<b>TOTAL</b>	<b>134</b>

**Tabla 32. Organismos colectados en la estación 3**

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ephemeroptera	Tricorythidae	Tricorythodes sp.	30
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis sp.	6
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes sp.	2
Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea	2
Trichoptera	Hydrobiosidae	Leptonema	32
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	13
Diptera	Blepharoceridae	Limnicola sp1	4
Basommatophora	Physidae	Physa	2
		<b>TOTAL</b>	<b>91</b>

## DATOS FISICOQUÍMICOS

Tabla 33. Registro de parámetros fisicoquímicos para la estación 1

PARAMETRO	ENERO	FEBRERO	MAYO
Temperatura ambiente (°C)	16	17.5	14.4
Temperatura hídrica (°C)	14	15.5	13.9
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.3	5.8	8.3
% saturación de oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> D)	70	64	80
Gas carbónico disuelto (CO <sub>2</sub> ) (mg/L)	3.5	3.0	2.0
pH	7.6	7.52	7.1
Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	71.06	67.57	
Dureza carbonácea (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	70	65	
Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	20.0	20.0	
Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	4.0	4.0	
Amonio (mg/L)	0.4	2.0	
Nitritos (mg/L)	0.04	0.2	
Nitratos (mg/L)	135	115	
Conductividad µMhos/cm	150	189	30
Salinidad	0	0	0

Tabla 34. Registro de parámetros fisicoquímicos para la estación 2

PARAMETRO	ENERO	FEBRERO	MAYO
Temperatura ambiente (°C)	16.5	17.7	14.9
Temperatura hídrica (°C)	15	16.7	15.1
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.7	6.0	6.8
% saturación de oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> D)	65	65	69
Gas carbónico disuelto (CO <sub>2</sub> ) (mg/L)	2.5	2.0	1.5
pH	7.7	7.62	7.0
Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	78.32	71.2	
Dureza carbonácea (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	76	70	
Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	15.0	15.0	
Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	4.0	4.0	
Amonio (mg/L)	2.0	2.0	
Nitritos (mg/L)	0.2	0.2	
Nitratos (mg/L)	135	115	
Conductividad µMhos/cm	135	189	60
Salinidad	0	0	0

Tabla 35. Registro de parámetros fisicoquímicos para la estación 3

PARAMETRO	ENERO	FEBRERO	MAYO
Temperatura ambiente (°C)	17	17.7	14.9
Temperatura hídrica (°C)	15	16.5	15
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.9	5.8	6.4
% saturación de oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> D)	75	64	65
Gas carbónico disuelto (CO <sub>2</sub> ) (mg/L)	3.0	2.5	2.0
pH	63	6.84	7.10
Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	92.56	78.32	
Dureza carbonácea (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	90	76	
Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	12.0	12.0	
Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	3.5	3.5	
Amonio (mg/L)	0.2	0.2	
Nitritos (mg/L)	0.02	0.02	
Nitratos (mg/L)	90	90	
Conductividad μMhos/cm	160	170	60
Salinidad	0	0	0

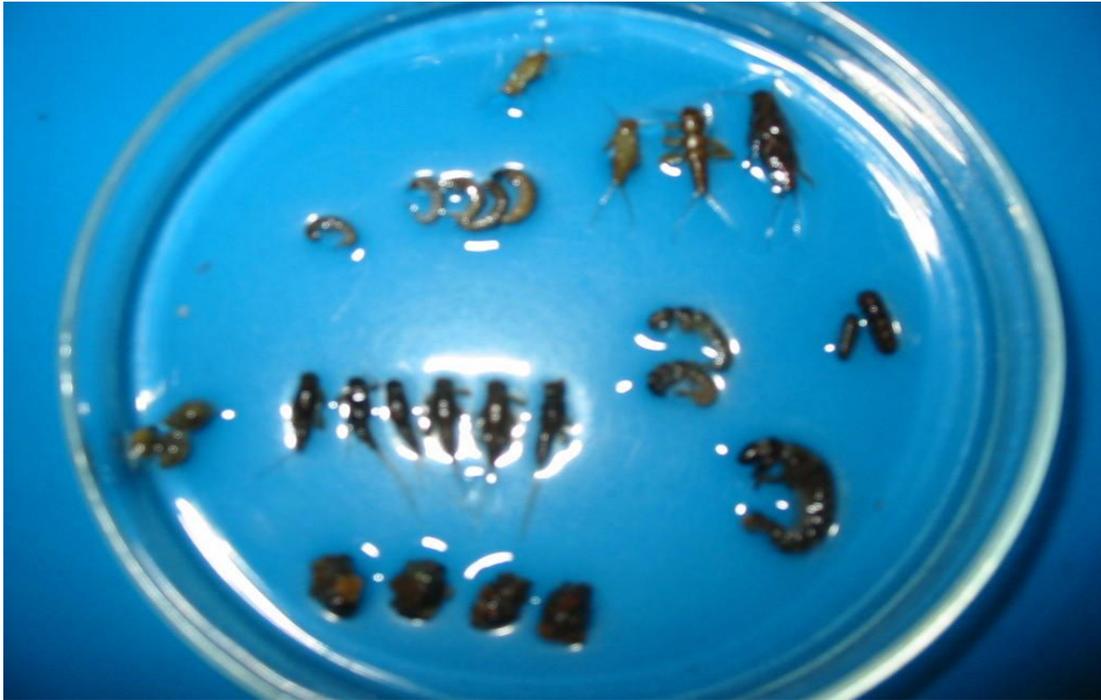


Foto 8. Organismos colectados durante a época de muestreo, entre los que están los pertenecientes al orden Ephemeroptera, Plecóptera, Trichóptera.



Foto 9. Organismos pertenecientes al orden Ephemeroptera, familia Tricorythidae, género Tricorythodes sp.



Foto 10. Organismos pertenecientes al orden Trichóptera



Foto 11. Organismos pertenecientes al orden Diptera, familia Blepharoceridae, género Limnicola sp1