

**EFFECTOS DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA CALIDAD  
BIOLÓGICA DE LA QUEBRADA QUITACALZÓN (Municipio de Popayán)**

**PAOLA ALEXANDRA MARTÍNEZ VIDAL**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2003**

**EFFECTOS DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA CALIDAD  
BIOLÓGICA DE LA QUEBRADA QUITACALZÓN (Municipio de Popayán)**

**PAOLA ALEXANDRA MARTÍNEZ VIDAL**

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

**Director:**

**HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ**

**Asesor:**

**GUILLERMO LEÓN VÁSQUEZ ZAPATA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA**

**POPAYÁN**

**2003**

**Nota de aceptación**

---

---

---

**Director : Hildier Zamora González**

---

**Jurado : Carlos Alzate**

---

**Jurado : Antonio Valverde**

**Fecha de sustentación : Popayán \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2003**

*“Un río es algo más que un accidente geográfico, una línea en el mapa, una parte inmutable del territorio. Un río es un ser vivo, un ser dotado de energía, de movimiento y sujeto a transformaciones”.*

**E.B Phelps**



## AGRADECIMIENTOS

- ❖ A Hildier Zamora González, Magister en Ecología y Director del trabajo, por su orientación en la identificación de los macroinvertebrados acuáticos .
  
- ❖ A Guillermo León Vásquez, Magister en Piscicultura y Asesor del trabajo, por su orientación en el análisis de los parámetros fisicoquímicos.
  
- ❖ A Bernardo Ramírez, Biólogo, por su ayuda en la identificación de material vegetal.
  
- ❖ A Willy Montoya y Felipe Gutiérrez, estudiantes tesistas de Biología, por su excepcional apoyo durante la época de muestreos.
  
- ❖ A Mi familia, amigos y todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron con el desarrollo y la culminación de este trabajo.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	2
<b>3. OBJETIVOS</b>	3
<b>4. MARCO REFERENCIAL</b>	4
<b>4.1. ANTECEDENTES</b>	4
<b>4.2. MARCO TEÓRICO</b>	7
4.2.1 Composición de las aguas residuales	8
4.2.2 Bioindicadores	8
4.2.3 Macroinvertebrados acuáticos	8
4.2.4 Índices de diversidad	9
4.2.4.1 Índice de diversidad de Shannon-Weaver	10
4.2.4.2 Índice de riqueza de Margalef	11
4.2.4.3 Índice de monitoreo biológico BMWP	11
4.2.5. Físicoquímica del agua	12

4.2.5.1	Temperatura	12
4.2.5.2	Oxígeno disuelto	13
4.2.5.3	Gas carbónico disuelto	13
4.2.5.4	pH	13
4.2.5.5	Alcalinidad	14
4.2.5.6	Conductividad	15
4.2.5.7	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	16
4.2.5.8	Salinidad	16
4.2.5.9	Dureza	16
4.2.5.10	Turbiedad	17
4.2.5.11	Fósforo y Nitrógeno	18
4.2.5.12	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	18
<b>5.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO</b>	<b>19</b>
<b>5.1</b>	<b>ESTACIONES DE MUESTREO</b>	<b>20</b>
5.1.1	Estación Mallorca	20
5.2.2	Estación la Arboleda	22
5.2.3	Estación San Bernardino	23
<b>5.2</b>	<b>CLIMA</b>	<b>25</b>
<b>5.3</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	<b>26</b>
5.3.1	Flujos de lodo y piroclásticos del río Saté (QPs)	26
5.3.2	Unidad de Vulcanitas y Epiclastitas de la Quebrada Pisoje (QPP)	26
5.3.3	Unidad de Tobas soldadas o Ignimbritas(TPh)	26
<b>6.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>27</b>

<b>6.1 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	28
6.1.1 Determinación de la Fauna de Macroinvertebrados Bentónicos	28
6.1.2 Análisis de Parámetros Físicoquímicos	29
<b>7. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	30
<b>7.1 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS</b>	30
7.1.1 Estación Mallorca	30
7.1.2 Estación La Arboleda	32
7.1.3 Estación San Bernardino	34
<b>7.2 INDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON-WEAVER</b>	36
7.2.1 Estación Mallorca	36
7.2.2 Estación La Arboleda	36
7.2.3 Estación San Bernardino	37
<b>7.3 INDICE DE MONITOREO BIOLÓGICO BMWP</b>	38
7.3.1 Estación Mallorca	38
7.3.2 Estación La Arboleda	39
7.3.3 Estación San Bernardino	40
<b>7.4 INDICE DE RIQUEZA</b>	42
7.4.1 Estación Mallorca	41
7.4.2 Estación La Arboleda	41
7.4.3 Estación San Bernardino	42
<b>7.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA HÍDRICA</b>	42
7.5.1 Turbiedad	42
7.5.2 Temperatura ambiental e hídrica	44

7.5.3 Oxígeno Disuelto y Porcentaje de Saturación de Oxígeno	45
7.5.4 Gas Carbónico Disuelto	48
7.5.5 pH	49
7.5.6 Acidez Total	50
7.5.7 Alcalinidad Total	51
7.5.8 Dureza Total y Dureza Carbonácea	52
7.5.9 Amonio y Nitritos	53
7.5.10 Conductividad y Sólidos Disueltos Totales	56
7.5.11 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	58
<b>8. CONCLUSIONES</b>	62
<b>9. RECOMENDACIONES</b>	67
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	69
<b>ANEXOS</b>	75

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Características climáticas del Municipio de Popayán	25
Tabla 2. Macroinvertebrados Acuáticos Colectados en la estación Mallorca entre Febrero y Agosto de 2002	30
Tabla 3. Macroinvertebrados Acuáticos Colectados en la estación 2 entre Febrero y Agosto de 2002	32
Tabla 4. Macroinvertebrados Acuáticos Colectados en la estación 3 entre Febrero y Agosto de 2002	34
Tabla 5. Índice de Shannon Weaver por Sitio de Muestreo	36
Tabla 6. Índice de BMWP entre Febrero y Agosto de 2002 Calculado para la Estación 1	38
Tabla 7. Índice de BMWP entre Febrero y Agosto de 2002 Calculado para la Estación 2	39
Tabla 8. Índice de BMWP entre Febrero y Agosto de 2002 Calculado para la Estación 3	40
Tabla 9. Variaciones del Índice de Riqueza (Margalef)	41
Tabla 10. DQO Durante Febrero, Abril y Agosto de 2002	58

Tabla 11. Variables Fisicoquímicas en la Estación Mallorca durante Febrero, Abril y Agosto de 2002	59
Tabla 12. Variables Fisicoquímicas en la Estación La Arboleda durante Febrero, Abril y Agosto de 2002	59
Tabla 13. Variables Fisicoquímicas en la Estación San Bernardino durante Febrero, Abril y Agosto de 2002	60
Tabla 14. Precipitación entre Febrero y Agosto de 2002	61

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados colectados en la estación Mallorca	31
Figura 2. Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados colectados en la estación La Arboleda	33
Figura 3. Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados colectados en la estación San Bernardino	34
Figura 4. Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados colectados en las tres estaciones de muestreo entre los meses de Febrero y Agosto de 2002	35
Figura 5. Variación del índice de Shannon Weaver por estación de muestreo	36
Figura 6. Variación del índice de BMWP por estación de muestreo	38
Figura 7. Variaciones del Índice de Riqueza (Margalef)	41
Figura 8. Turbiedad	43



Figura 9. Variación de la temperatura ambiental entre Febrero y Agosto de 2002	44
Figura 10. Variación de la temperatura hídrica entre Febrero y Agosto de 2002	44
Figura 11. Oxígeno disuelto	45
Figura 12. Porcentaje de saturación de oxígeno	45
Figura 13. Gas carbónico disuelto	48
Figura 14. Variaciones de pH	49
Figura 15. Acidez total	50
Figura 16. Alcalinidad total	51
Figura 17. Dureza total	52
Figura 18. Dureza carbonácea	53
Figura 19. Amonio	54
Figura 20. Nitritos	55

Figura 21. Conductividad	56
Figura 22. Sólidos disueltos totales	57
Figura 23. Variación de la DQO para las tres estaciones durante Febrero, Abril y Agosto de 2002	58
Figura 24. Precipitación entre Febrero y Agosto de 2002	61
Foto 1. Vertimiento de basuras en la estación Mallorca	21
Foto 2. Desagues de aguas lluvias y residuales en la estación Mallorca	21
Foto 3. Estación la Arboleda, a la altura del puente del barrio La Arboleda	22
Foto 4. Recorrido de la quebrada Quitacalzón, predio en la vereda San Bernardino	23
Foto 5. Descarga de aguas residuales, estación San Bernardino	24
Foto 6. Descarga de aguas residuales en la estación San Bernardino	24

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Mapa 1. Hidrografía del Municipio de Popayán	76
Mapa 2. Ubicación de las estaciones de muestreo	77

## INTRODUCCIÓN

El elevado crecimiento demográfico de las poblaciones causa significativas alteraciones del ecosistema como consecuencia de los hábitos gregarios, la actividad depredadora y la capacidad de raciocinio del ser humano.

El agua es uno de los elementos primordiales para el desarrollo de la biota, por tanto el uso inadecuado de sus fuentes pone en riesgo tanto a la comunidad como al ecosistema en general. Este uso inadecuado conduce a la contaminación de las fuentes de agua; contaminación que cuando se trata a tiempo tiene óptimos resultados, por el contrario cuando ha avanzado es mucho menos factible su recuperación. Para evitar estos problemas es importante crear planes de manejo a partir de diagnósticos de calidad físico - química y biológica para todas la fuentes de agua de modo que se limite o evite la contaminación.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El estudio de los efectos generados por el vertimiento de aguas residuales domésticas no depuradas es necesario para establecer medidas que limiten y controlen dicha actividad, tanto en el lugar de estudio (quebrada Quitacalzón) como en otras fuentes hídricas donde se vierten estos residuos. Contribuirá a conocer las características biológicas y fisicoquímicas de la quebrada, ya que es muy poco lo que se ha estudiado acerca de ella. Se podrá establecer la clase de macroinvertebrados que tienen lugar en la quebrada para evaluar su calidad. Lo anterior permitirá establecer los posibles usos de la fuente de agua, creando conciencia de un aprovechamiento controlado y sano para el ecosistema y sus habitantes. Además, ayudará a conocer los riesgos a los que están expuestos los habitantes aledaños a la quebrada, así como el ecosistema en general, por tanto permitirá implantar acciones por parte de las autoridades del Municipio de Popayán, la secretaría de salud pública del Departamento del Cauca, el Ministerio del Medio Ambiente, la CRC entre otras, para proteger tanto a los habitantes como al ecosistema.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Caracterizar el nivel de alteración de la quebrada Quitacalzón causado por el vertimiento de aguas residuales domésticas no depuradas

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- ✓ Establecer la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y su carácter bioindicador.
- ✓ Determinar los niveles de contaminación de las zonas a trabajar con base en la caracterización biológica y fisicoquímica hídrica.
- ✓ Determinar la calidad biológica del ecosistema con base en los índices BMWP y Shannon Weaver.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1 ANTECEDENTES**

La actividad antrópica y elevado crecimiento demográfico tanto de la zona urbana como de la zona rural del municipio de Popayán viene afectando a numerosos ríos y quebradas. Teniendo en cuenta dicho problema se han desarrollado estudios que muestran los niveles de alteración de las fuentes de agua y los planes de manejo que se pueden adoptar para controlar el daño que hasta ahora se ha generado en estas zonas, tales estudios contribuyen a un conocimiento profundo del problema que se vive y a proponer acciones que eviten la contaminación de más fuentes de agua. Entre los estudios realizados cabe mencionar:

Chicangana (1988) evaluó el grado de contaminación del río Timbío con base en sus características fisicoquímicas y biológicas. Además determinó su efecto ambiental en la zona urbana del Municipio. Concluyó que la contaminación es de tipo doméstico, por tanto presenta posibilidades de auto recuperación.

Navarrete (1991) realizó una caracterización fisicoquímica, hídrica y biológica del río Las Piedras. Encontró una fisicoquímica normal con tendencia alta a ser alterada por efectos antrópicos.

Ortega (1993) realizó un Estudio hidrobiológico del río Ovejas: Caracterización fisicoquímica hídrica, fauna béntica e íctica, interrelaciones. De acuerdo al diagnóstico hidrobiológico realizado tanto en la cuenca alta del río (municipio de Silvia) como en la cuenca baja del mismo (municipio de Suárez) se encontró que el río presenta las condiciones óptimas para el desarrollo de las especies acuáticas. Los parámetros hidrobiológicos del río se ven alterados en su cuenca media (sector pescador) como consecuencia del vertimiento de desechos orgánicos provenientes de las porquerizas y las rallanderías de yuca propias de la zona. Los índices de diversidad de la fauna béntica muestran un ecosistema medianamente alterado, sin embargo los organismos encontrados son característicos de aguas limpias o medianamente contaminadas.

Zamora (1995) determinó los niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Molino por efecto de las actividades antrópicas y la contaminación doméstica. En este trabajo se concluyó que el río Molino, desde su nacimiento hasta la bocatoma conserva en gran parte (70%) las características Físicas, Químicas y Biológicas de un cuerpo de agua no alterado, por lo tanto es posible mejorar las condiciones mediante un adecuado manejo de la cuenca.

Fernández y Castro (1996) determinaron los niveles de alteración del río Blanco (Altiplano de Popayán) con base en sus características fisicoquímicas y comunidades bénticas. Concluyen que el río Blanco presenta alteración en la zona media de muestreo, como consecuencia de procesos de degradación orgánica e incidencia antrópica. No se encuentra contaminación por desechos humanos directos en la cabecera, ni en la parte baja del río. En estos sectores se determinaron factores de alteración en menor escala generados por la utilización de estas zonas para el pastoreo y el lavado de fique.



González (1997) determinó los riesgos de la contaminación del agua por fuentes domésticas en las cabeceras municipales del Norte del Cauca.

Campo y Vidal (1998) realizaron la caracterización fisicoquímica y de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Timbío en el Departamento del Cauca. Concluyeron que la unión del río Timbío con la Quebrada Leyton (Zona 1) es una zona con poca perturbación, por el contrario el puente Panamericana (Zona 2) y El Cajón (Zona 3) presentan un claro proceso de alteración por aguas residuales domésticas, vertimientos del matadero de Timbío, vertimientos sanitarios y residuos sólidos.

Cerón y Certuche (1998) realizaron un diagnóstico ambiental en la parte media de la microcuenca del río Ejido, estableciendo que la cuenca se encuentra en un alto nivel de deterioro, referente a casi la totalidad de sus componentes.

Castillo (1999) evaluó el efecto generado por la extracción de arena sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la fisicoquímica del río Los Robles. Determinó que la extracción de arena en el área de estudio y durante el período de estudio no afectó de manera significativa las características fisicoquímicas del agua. La diversidad y número de individuos de la comunidad de macroinvertebrados se redujo, fundamentalmente por la destrucción y transformación de los hábitat.

Pérez y Solarte (2002) evaluaron el grado de contaminación de la quebrada Abejonaes, generada por vertimientos de las microempresas de almidón de yuca en la vereda Mandiva del municipio de Santander de Quilichao y concluyeron que dicha actividad está afectando de manera significativa la diversidad de la comunidad de macroinvertebrados y en general la calidad de la fuente de agua.

## 4.2 MARCO TEÓRICO

Un curso de agua con un producto de desecho incorporado, recibe el nombre de agua residual. Según el origen de las aguas residuales estas pueden ser: domésticas, industriales, de infiltración y pluviales. El origen, composición y cantidad de los desechos domésticos están relacionados con los hábitos de vida vigentes en una población.

Las aguas residuales domésticas son el resultado entonces, de actividades cotidianas de las personas, y están constituidas por las provenientes de los hogares y de los establecimientos comerciales. Un área metropolitana estándar vierte un volumen de aguas residuales entre el 60 y el 80% de sus requerimientos diarios totales, y el resto se usa para lavar coches y regar jardines, así como en procesos como el enlatado y embotellado de alimentos.

La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga. Una acería, por ejemplo, puede descargar entre 5.700 y 151.000 litros por tonelada de acero fabricado. Si se practica el reciclado, se necesita menos agua. Hay tres opciones (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas en corrientes o masas de agua. La agricultura, la ganadería comercial y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido

en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aeróbicas o anaeróbicas y toda una serie de métodos adicionales.

#### **4.2.1 Composición de las aguas residuales**

Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral.

#### **4.2.2 Bioindicadores**

Son organismos o sus comunidades que permiten diagnosticar las características abióticas y bióticas de un ecosistema, gracias a las adaptaciones que ellos han presentado ante las exigencias del medio que ocupan.

#### **4.2.3 Macroinvertebrados acuáticos**

Bajo este término se agrupan todos aquellos organismos que se pueden observar a simple vista, en términos generales todos aquellos que tiene tamaños superiores a los 0.5 mm de largo y que además viven en el fondo de los lagos y ríos, adheridos a substratos como rocas, plantas acuáticas o residuos vegetales o enterrados en el sustrato.

Las comunidades de macroinvertebrados presentan una serie de características que los han llevado a ser preferidos por biólogos, ecólogos y limnólogos como elementos de análisis de la calidad biológica de las aguas epicontinentales, entre otras se tienen las siguientes:

- ✓ Tamaño relativamente grande: Facilita la captura en campo y el trabajo de identificación en el laboratorio.
- ✓ Muestreo fácil: Existen para tal fin técnicas estandarizadas, que además son de fácil ejecución.
- ✓ No requiere equipos costosos: Para la toma de muestras, son suficientes mallas sencillas de fácil construcción a partir de materiales muy económicos. Cuando es necesario la utilización de dragas pueden mandarse a construir resultando económicas.
- ✓ Ciclos biológicos suficientemente largos: Permiten detectar cualquier alteración ocurrida durante períodos de tiempo suficientemente prolongados, por tal razón son buenos indicadores de perturbaciones anteriores a la toma de la muestra.

#### **4.2.4 Índices de diversidad**

Miden la complejidad de una comunidad en términos de una mayor o menor cantidad de especies y de la abundancia relativa de los organismos de cada una de ellas.

#### 4.2.4.1 Índice de Shannon-Weaver

Es una de las expresiones matemáticas que se utilizan para calcular la diversidad en un ecosistema.

La fórmula de Shannon-Weaver es la expresión que ofrece más ventajas para análisis ecológicos.

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

Donde:

$n_i$  = Número de organismos por cada género.

$N$  = Número total de organismos colectados.

$\ln$  = Logaritmo natural.

El índice de diversidad oscila entre 0.0 y 5.0 y debe interpretarse 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

Es importante aclarar que en ciertas ocasiones una baja diversidad no es indicadora de contaminación, ya que en algunos casos la baja diversidad está determinada por la carencia de nutrientes en el cuerpo de agua, más no porque exista algún tipo de alteración de origen antrópico.

Por lo anterior es importante tener en cuenta otros parámetros al momento de realizar análisis de este tipo.

#### **4.2.4.2 Índice de Margalef**

Llamado también índice de riqueza, se basa en el número total de especies (S) dividido por el logaritmo natural (ln) del número total de individuos (N) por área:

$$D = S / \ln N$$

#### **4.2.4.3 Índice de monitoreo biológico BMWP<sup>i</sup> (Biological Monitoring Working Party Score System)**

Sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico. Consiste en la ordenación de los macroinvertebrados acuáticos al nivel taxonómico de familia, en diez grupos en una escala de mayor a menor tolerancia a las alteraciones de las condiciones normales naturales de los cuerpos de agua. Sobre el inventario realizado se asigna el puntaje correspondiente 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 obtienen juicios sobre la calidad y color cartográfico, que son los correspondientes al renglón del rango. Como los límites entre las categorías no pueden ser estrictos, necesariamente se presentan situaciones de transición, para ellas se han considerado los puntajes con cinco unidades por exceso o por defecto de los límites establecidos en la segunda tabla. En relación con los colores, también se deben considerar dichas transiciones y se representan alternando los colores correspondientes a los rangos plenos.

## **4.2.5 Físicoquímica del agua**

### **4.2.5.1 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 trofodinámicos de la biota acuática, tasas metabólicas, conversiones alimenticias, procesos de maduración gonádica, distribución de las poblaciones, migraciones, procesos de degradación de materia orgánica (Roldán, 1992)

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 (Roldán, 1992).

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 (Roldán, 1992).

---

<sup>i</sup> Adaptado por Zamora, H. 1999

#### **4.2.5.2 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 (Roldán, 1992).

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) (Roldán, 1992).

#### **4.2.5.3 Gas carbónico**

El gas carbónico 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 agua naturales (Roldán, 1992)

#### **4.2.5.4 pH**

Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua expresada por el logaritmo del inverso de la concentración (Margalef, 1998). Roldán (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  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , 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 - 7.4 según Roldán 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 del 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 estimar los niveles de productividad primaria según Roldán y citado por Vásquez (2001).

#### **4.2.5.5 Alcalinidad**

Se encuentra asociado a las formas en las cuales se encuentra el dióxido de carbono en el agua. 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 productos 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. Este término no debe confundirse con el de basicidad en el sentido de valores de pH (Roldán, 1992).

Es un parámetro de gran importancia ya que permite determinar la capacidad del sistema para mantener procesos biológicos y una productividad sostenida y permanente. La mayoría de las aguas naturales y en especial aquellas que poseen valores altos de alcalinidad total, resisten mejor los cambios drásticos de pH, por consiguiente son aptas para el desarrollo de la biota acuática. La alcalinidad del agua la define en gran parte la naturaleza geoquímica del sustrato según Roldán y citado por Vásquez (2001). En aguas tropicales los valores de alcalinidad son relativamente bajos (menores de 100 mg CaCO<sub>3</sub> /l) (Roldán, 1992).

#### **4.2.5.6 Conductividad**

Indica la capacidad del agua (u otra solución) para transferir corriente eléctrica (Ramírez y Viña, 1998). Según Roldán y citado por Vásquez (2001) 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.

En aguas naturales la conductividad permite medir la cantidad de iones; por lo tanto se correlaciona con los sólidos disueltos y con la salinidad. Es importante considerar las condiciones de pH existentes en el momento del muestreo y análisis según Roldán y citado por Vásquez (2001), el cual se incrementa con la temperatura.

La conductividad proporciona una idea aproximada acerca de la realidad de un ecosistema acuático, actividad iónica, diversidad biótica (relación inversa); procesos de osmoregulación 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) según Roldán y citado por Vásquez (2001). Los valores habituales son de menos

de 50 microsiemens ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) o menos en aguas muy puras hasta 500 a 1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  para las fuertemente mineralizadas (Margalef, 1983).

#### **4.2.5.7 Sólidos totales disueltos**

Se trata de la concentración total de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales. 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) según Roldán y citado por Vásquez (2001). 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) según Roldán y citado por Vásquez (2001).

#### **4.2.5.8 Salinidad**

Se define como la concentración total de los componentes 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 (Roldán, 1992). La presencia de estos iones en el agua está asociada a la naturaleza geoquímica del terreno.

#### **4.2.5.9 Dureza**

Está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua (Roldán, 1992). Existen varias clasificaciones de acuerdo con los valores de dureza: Ohle (1934), citado por Vásquez (2001), propuso una clasificación según la productividad: Poco productivas (con valores menores a 10 mg  $\text{CaCO}_3$  /l), medianamente productivas (valores entre 10 y 25 mg  $\text{CaCO}_3$  /l) y muy productivas (valores superiores a los 25 mg  $\text{CaCO}_3$  /l).

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. Debe tenerse en cuenta que una mayor productividad está generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones. Las aguas con durezas intermedias pueden poseer una flora y fauna mas variada, pero son menos productivas en términos de biomasa (Roldán, 1992).

La dureza “temporal” se conoce como la dureza por carbonatos y bicarbonatos ya que esta desaparece al hervir el agua o provocar precipitación de los carbonatos de calcio y de magnesio. La dureza “Permanente” esta 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 está determinada por la suma de la dureza total más la dureza permanente (Roldán,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.

#### **4.2.5.10 Turbiedad**

Se define como el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada suspendida. El tipo de materiales que contribuyen a la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua puesto que limita la transmisión de la luz en ella (Roldán, 1992).

#### **4.2.5.11 Fósforo y nitrógeno**

Constituyen los dos elementos más importantes para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos. En medios oligotróficos sus concentraciones son relativamente bajas, por el contrario en medios eutrofizados las concentraciones alcanzan varios miligramos por litro. Puede ser uno de los factores más limitantes en la productividad primaria. El fósforo proviene de la disolución de las rocas fosfatadas y por la mineralización de la materia orgánica, que retorna al medio el fósforo inorgánico a través de los procesos de descomposición microbiana. El nitrógeno tiene como fuente principal el nitrógeno atmosférico además regresa al medio a través de la descomposición de materia orgánica. (Roldán,1992)

La contaminación orgánica, industrial y agrícola constituye una de las fuentes más importantes de nitrógeno y fósforo en el agua y es la principal responsable de los fenómenos de eutrofización de lagos, embalses y ríos (Roldán, 1992). Es otro de los elementos más importantes para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos.

#### **4.2.5.12 Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es la medida aproximada del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua. Materia orgánica que es susceptible a la oxidación con un oxidante químico fuerte, especialmente el dicromato de potasio (Vásquez, 2001).

## 5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

<sup>ii</sup>La cuenca de la quebrada Quitacalzón (Mapa 1, 2) se ubica al norte de la ciudad de Popayán, donde predomina el desarrollo urbanístico y se desplaza con sentido nor-occidente. Su nacimiento tiene lugar en el barrio Bello Horizonte y su desembocadura en el río Saté. Atraviesa parte de la meseta de Popayán, haciendo un recorrido de 11.3 Km, con cotas que varían desde los 1820 a 1720 msnm.

La red de drenaje de la microcuenca la conforman las quebradas Morinda y San Bernardino.

Los suelos que están sobre las márgenes de la quebrada Quitacalzón, en su mayoría están cubiertos de pastos tecnificados y pequeños cultivos sin nivel de manejo, rastrojos y malezas pertenecientes a una sucesión natural.

El alto desarrollo urbanístico del sector donde se ubica tanto el nacimiento como el tramo inicial de la quebrada Quitacalzón, hasta la variante, ha generado una serie de impactos ambientales sobre la misma, identificados a partir del reconocimiento físico a lo largo de sus márgenes derecha e

---

<sup>ii</sup> Tomado de: Municipio de Popayán – Plan de Ordenamiento Territorial – Documento Técnico, 2001.

izquierda hasta su desembocadura. Esta es una de las quebradas de la ciudad que sufre mayor impacto por la contaminación doméstica. Se estima que en la zona norte de la ciudad el aporte de aguas residuales a la quebrada es de 35.3 Lps.

Lo anterior ha generado limitaciones en el uso de la quebrada Quitacalzón, después de cruzar la variante por parte de predios aledaños para el manejo de cultivos, ganadería y piscicultura.

La vegetación del área de estudio, de acuerdo con la clasificación de zonas de vida de **Holdridge** pertenece a la formación de bosque húmedo premontano. Debido a la creciente urbanización de la zona y a otras obras civiles desarrolladas en esta, dichos bosques han sido reducidos y casi eliminados. Se han reemplazado por pequeños cultivos de Maíz (*Zea mays*), Plátano (*Hortia colombiana*), Café (*Coffea arabiga*), Yuca (*Manihot sculenta*), Pastos, Hortalizas y Frutales.

## **5.1 ESTACIONES DE MUESTREO.**

### **5.1.1 Estación Mallorca**

Se caracteriza por encontrarse dentro de una zona urbana, factor que la hace vulnerable al vertimiento de basuras (Foto 1, Mapa 2) por parte de los habitantes de los barrios aledaños. Comprende el sector entre la urbanización Mallorca y el puente del barrio La Arboleda. En esta estación se observan tres desagües: uno que recoge a la quebrada canalizada, el segundo recoge las aguas lluvias y el tercero un colector de aguas residuales (Foto 2).



Foto 1. Vertimiento de basuras en la estación Mallorca



Foto 2. Desagües de aguas lluvias y residuales en la estación Mallorca



En la zona predominan especies herbáceas, entre ellas podemos encontrar: *Piper crassinerium*, *Thelypteris sp*, *Monnina sp*, *Triptiens wallerana*, *Stromanthe*, *Trichantera gigantea*, *Anredera sp*. También se encuentra una cantidad considerable de bambú.

### 5.1.2 Estación La Arboleda



Foto 3. Estación la Arboleda, a la altura del puente del barrio la Arboleda

Sector ubicado entre el puente del barrio la Arboleda (Foto 3, Mapa 2) y la vereda San Bernardino. Se caracteriza por ser una zona con alta densidad de población, no existen plantaciones alrededor de esta estación, se observa actividad ganadera a pequeña escala.

Existen algunas especies de coníferas, pastos y guadua. Predominan especies herbáceas como: *Thelypteris sp (2)*, *Hypoestes Phyllostachya*, *Eryobotria japonica*, *Brugmansia aurea*, *Micenia*

*caudata*, *Solanum sp*, *Piper catripense*, *Commelina*, *Piper crassinervium*, *Thelypteris sp (1)*, *Arachnioides denticulata*.

### 5.1.3 Estación San Bernardino

Estación ubicada en la vereda San Bernardino (Foto 4, Mapa 2), en uno de los predios pertenecientes a esta. Se encuentra ubicada en una zona rural, por lo que se observa una disminución en la densidad de población. En este sector la quebrada recibe la mayor descarga de aguas residuales, se observa la descarga de un colector de alcantarillado en la margen izquierda de la quebrada (Fotos 5 y 6).



Foto 4. Recorrido de la quebrada Quitacalzón , predio en la vereda San Bernardino





Foto 5. Descarga de aguas residuales a la quebrada Quitacalzón, estación San Bernardino



Foto 6. Descarga de aguas residuales en la estación San Bernardino

Entre la vegetación predominante de esta zona se encuentran coníferas, pastos y especies herbáceas como: *Anthurium sp*, *Alchornea latifolia*, *Piper carpunya*, *Chrusoclamys sp*, *Besleria solanoides*, *Hedychium coronarium*, *Pavonia sp*, *Psychotria sp* y *Micenia sp*. Se observan pequeñas plantaciones de café, yuca, plátano, maíz y frijol.

## 5.2 CLIMA

Tabla 1. Características climáticas del municipio de Popayán<sup>iii</sup>

Altura sobre el nivel de mar		1738 msnm
Temperatura media anual		19 °C
Precipitación media anual		2066 mm
Días de lluvia promedio año		215 días
Meses con mayor precipitación relativa (promedio)	Octubre	384 mm
	Noviembre	410.7 mm
	Diciembre	270 mm
Humedad relativa media anual		81.7 %
Meses con mayor humedad relativa promedio	Noviembre	87.6 %
	Diciembre	86.4%
Meses con menor humedad relativa promedio	Agosto	75%
	Septiembre	74%
Brillo Solar (horas año)		1640.7 horas
Evapotranspiración (año)		830.5 mm
Presión barométrica		1820 milibares

<sup>iii</sup> Fuente: Diccionario Geográfico de Colombia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1996

### **5.3 GEOMORFOLOGIA<sup>iv</sup>**

#### **5.3.1 Flujos de lodo y piroclástico del río Saté (QPS).**

Afloran en el río Saté, la quebrada Garrochal y los alrededores de la hacienda Morinda. Esta unidad conjuntamente con la Unidad de vulcanitas y de epiclastitas (QPP), conforma el cono del río Cauca, se compone de un flujo gris de ceniza y bloques y de dos flujos de lodo. El espesor total es de 12 o 14 m y los flujos de lodo están meteorizados. El flujo piroclástico se presenta bien soldado o consolidado y no meteorizado. La secuencia suprayace discordinadamente a Unidad de tobas soldadas o ignimbritas (TPh) y se intuye que infrayace a Unidad de vulcanitas y de epiclastitas de la quebrada Pisojé (QPP). Sin embargo la posición estratigráfica de QPS es dudosa y no se pudo comprobar en el campo.

#### **5.3.2 Unidad de Vulcanitas y de Epiclastitas de la Quebrada Pisojé (QPP).**

La secuencia se compone de un flujo de cenizas y bloques de matriz tamaño limo-arenoso, con plagioclasa alterada y cuarzo, capas de epiclastitas (gravas, arenas, limos y arcillas), flujos de cenizas de color amarillo y marrón.

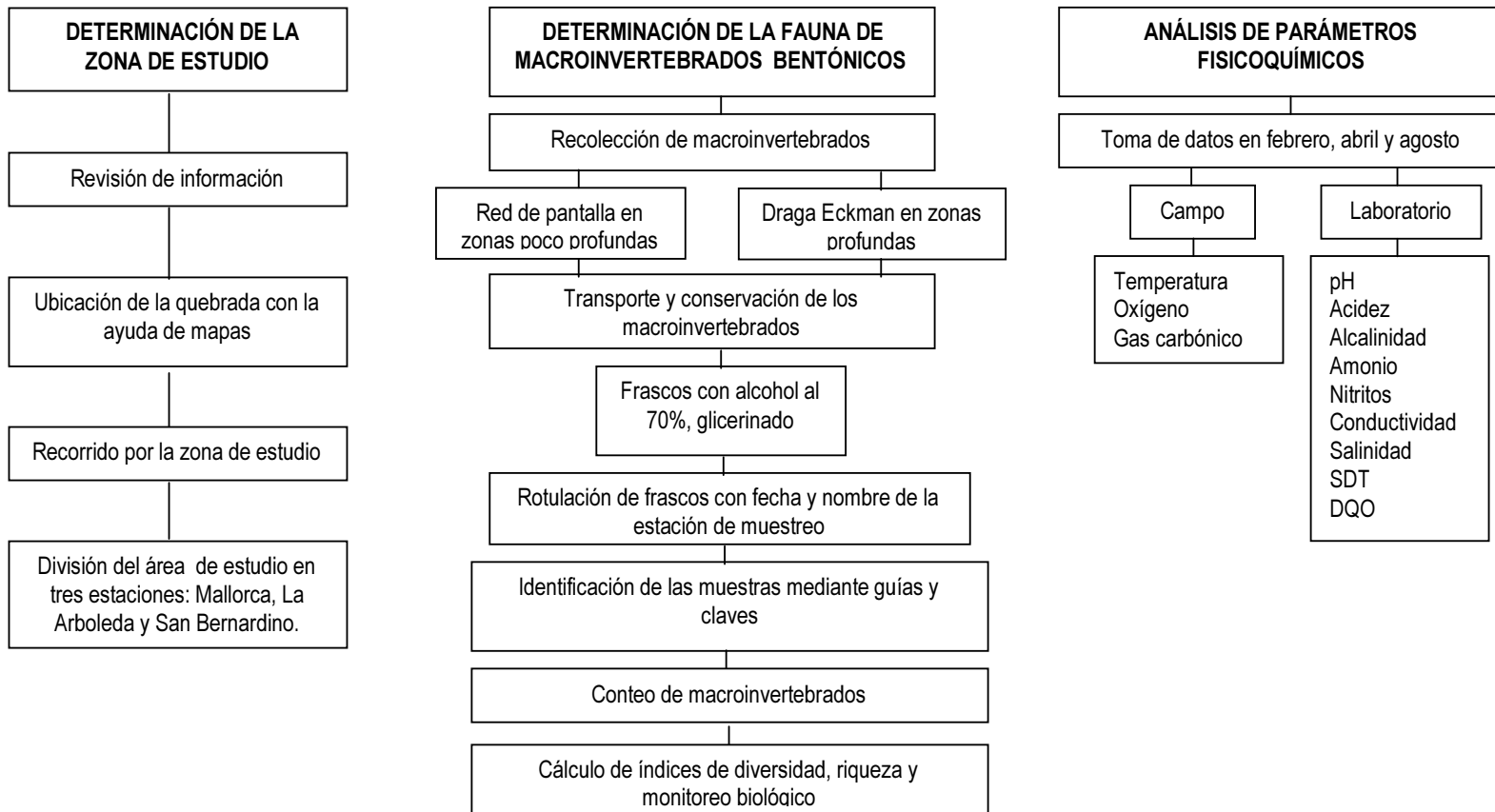
#### **5.3.3 Unidad de Tobas Soldadas o Ignimbritas (TPh).**

Presenta geoformas redondeadas, pendientes variables de 6 a 25° y de 90° (localmente son cóncavas y convexas); drenaje subdendrítico a dendrítico denso; suelos (arena, limo y arcilla) con profundidades entre 25 y 40 m y características geotécnicas regulares, para estos suelos, y de buenas a muy buenas para las ignimbritas no alteradas, roca dura.

---

<sup>iv</sup> Tomado de: Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán, Comunidad Económica Europea – Ingeominas, 1992

## 6. METODOLOGÍA





## **6.1 MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la determinación de la zona de estudio se tomó como base la información suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán en cuanto a la ubicación de los diferentes colectores de alcantarillado presentes en el norte de la ciudad. Luego se procedió a situar dichas zonas con la ayuda de mapas, suministrados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) e INGEOMINAS, con el fin de determinar la fuente de agua a trabajar, conocer su recorrido y facilitar su división por estaciones.

El área de estudio se dividió en tres estaciones: Mallorca, La Arboleda y San Bernardino, esto teniendo en cuenta la distancia con respecto al nacimiento.

### **6.1.1 Determinación de la fauna de macroinvertebrados bentónicos**

Para cada una de las estaciones de muestreo se realizaron colectas mensuales de febrero a agosto de 2002, para un total de seis muestreos por cada estación.

La recolección de los macroinvertebrados bentónicos se realizó usando una red de pantalla en los hábitats poco profundos, en las zonas de mayor profundidad se hizo mediante el método de dragado usando una draga Eckman. Una vez colectados los macroinvertebrados se tomaron con una pinza y se depositaron en frascos con alcohol al 70%, glicerinado. Esta mezcla permite la conservación y elasticidad de los organismos durante largo tiempo. Las muestras se rotularon con el nombre de la estación de muestreo y la fecha de recolección. Posteriormente se llevaron al laboratorio para su observación, conteo y determinación; mediante guías y claves para tal fin.



La información obtenida se usó para determinar la estructura de la comunidad, calcular los índices de diversidad de Shannon Weaver, monitoreo biológico (BMWP) y riqueza de Margalef.

### **6.1.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos**

Se realizaron tres análisis fisicoquímicos, en febrero, abril y agosto de 2002; para cada una de las zonas de muestreo. Datos como temperatura, oxígeno disuelto y gas carbónico se tomaron directamente en campo. Los análisis de pH, acidez, alcalinidad, amonio, nitritos, nitratos, conductividad, salinidad, sólidos disueltos y DQO 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 debidamente rotulados con el nombre de la estación de muestreo y la fecha de toma de la muestra. Se usaron equipos como oxigenómetro, pHmetro, conductímetro, espectrofotómetro, termómetro ambiental y kit Merck. Para determinar la cantidad de gas carbónico se usó el método de la Fenolftaleína.

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 7.1 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

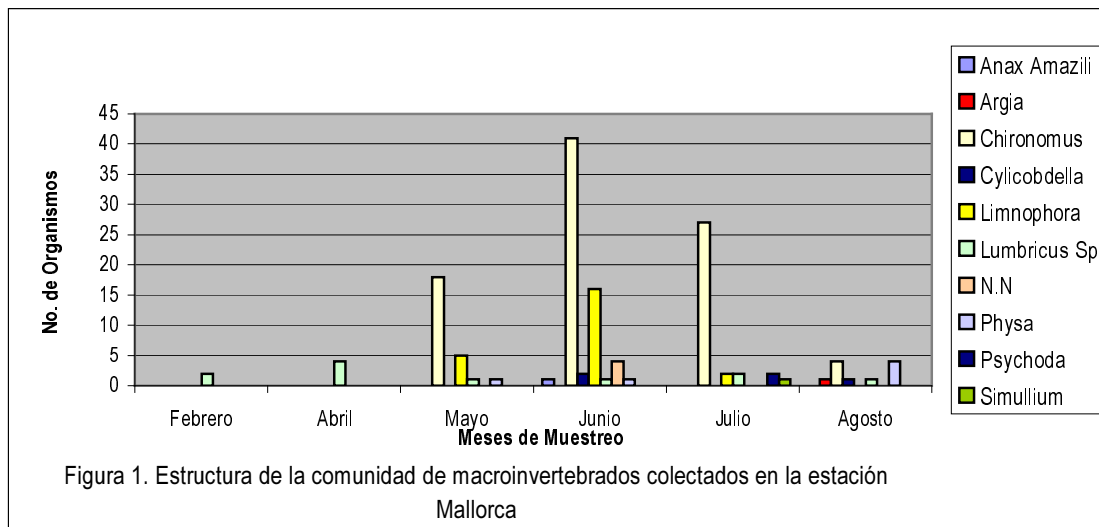
Los datos obtenidos a partir de la identificación de los macroinvertebrados colectados permitieron detectar las alteraciones en diferentes zonas del ecosistema.

#### 7.1.1 Estación Mallorca

Durante el período de muestreo se colectaron 142 individuos pertenecientes a los ordenes: Diptera, Odonata, Basommatophora, Hirudiniiformes y Haplotáxida. Se capturaron ejemplares de 9 familias y 10 géneros en total. (Tabla 2)

Tabla 2. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la estación Mallorca entre Febrero y Agosto de 2002

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Febrero	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
Annelida	Hirudinea	Hirudiniiformes	Cylicobdellidae	<i>Cylicobdella</i>				2		1	3
Annelida		Haplotaxida		<i>Lumbricus Sp</i>	2	4	1	1	2	1	11
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i>			18	41	27	4	90
Arthropoda	Insecta	Diptera	Muscidae	<i>Limnophora</i>			5	16	2		23
Arthropoda	Insecta	Diptera	Psychodidae	<i>Psychoda</i>					2		2
Arthropoda	Insecta	Diptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>					1		1
Arthropoda	Insecta	Odonata	Aeshnidae	<i>Anax Amazili</i>				1			1
Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i>						1	1
Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	<i>N.N</i>				4			4
Mollusca	Gasteropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>			1	1		4	6
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>66</b>	<b>34</b>	<b>142</b>



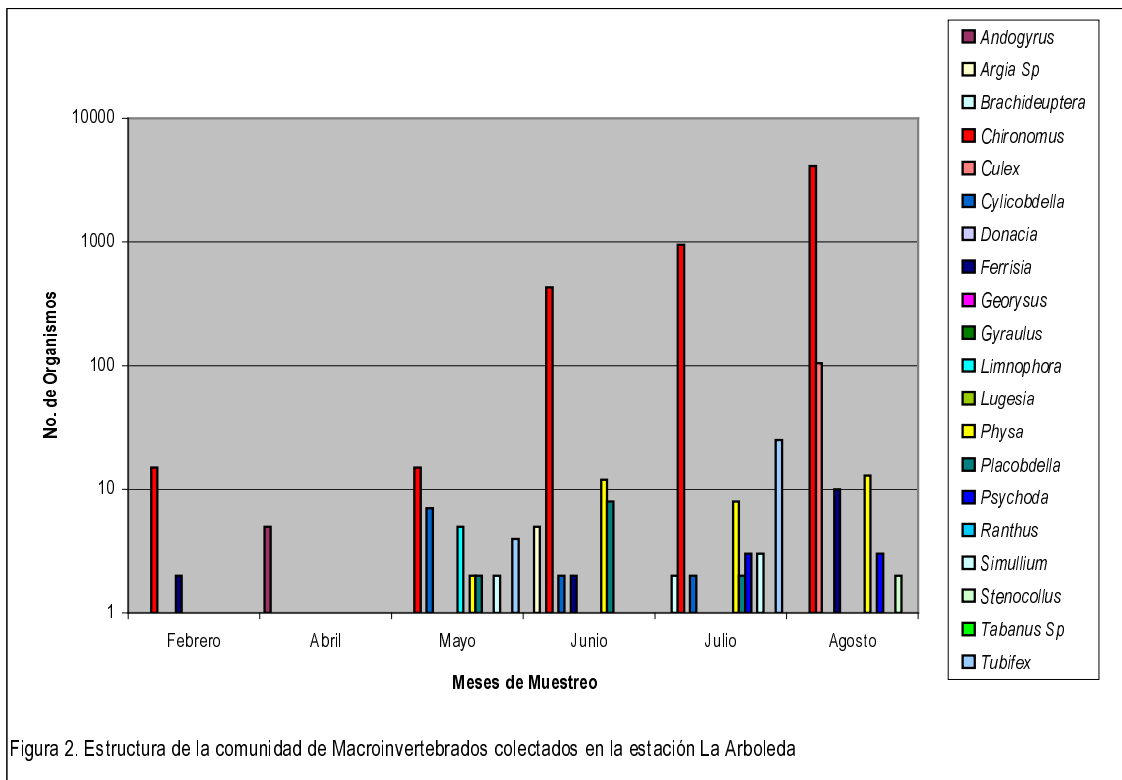
Esta zona presenta un predominio del género *Chironomus* correspondiente al 67.17% del total de la población colectada, estos organismos toleran bajas concentraciones de oxígeno. Son característicos de aguas eutróficas; con abundante materia orgánica en descomposición. El 13.43% de los organismos colectados pertenecen al género *Limnophora* característicos de aguas mesotróficas y el 8.20% pertenecen al género *Lumbricus*. En menor porcentaje se encontraron organismos pertenecientes a los géneros *Physa* (4.47%) género que puede sobrevivir en lugares con restos orgánicos y son resistentes a la contaminación, *Argia* (0.74%) organismos indicadores de aguas oligotróficas y *Cylicobdella* (2.23%) género indicador de aguas eutróficas por efectos de contaminación orgánica (Figura 1).

### 7.1.2 Estación La Arboleda

En esta zona se colectaron 5759 individuos durante el periodo de muestreo. Distribuidos en 4 Phylum, 5 clases, 8 ordenes, 22 familias y 22 géneros (Tabla 3).

Tabla 3. Macroinvertebrados colectados en la estación La Arboleda entre Febrero y Agosto de 2002

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Febrero	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total	
Molusca	Gasteropoda	Basommatophora	Ancylidae	<i>Ferrisia</i>	2			2	1	10	15	
Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia Sp</i>				5			5	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Culicidae	<i>Culex</i>						104	104	
Annelida	Hirudinea	Hirudiniformes	Cylicobdellidae	<i>Cylicobdella</i>			7	2	2		11	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	15		15	430	950	4103	5513	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Donacia</i>						1	1	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Ranthus</i>						1	1	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Georyssidae	<i>Georysus</i>					1		1	
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	<i>Placobdella</i>			2	8	2		12	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Gyrinidae	<i>Andogyrus</i>		5					5	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Halplidae	<i>N.N</i>					1		1	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hidrophilidae	<i>N.N</i>					1		1	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Muscidae	<i>Limnophora</i>			5				5	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Paridrinae	<i>Brachideuptera</i>					2		2	
Molusca	Gasteropoda	Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>	1		2	12	8	13	36	
Annelida	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	<i>Lugesia</i>			1				1	
Molusca	Gasteropoda	Basommatophora	Planorbidae	<i>Gyraulus</i>						1	1	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Psychodidae	<i>Psychoda</i>					3	3	6	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Ptyllodactylidae	<i>Stenocollus</i>						2	2	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Simuliidae	<i>Simullium</i>			2		3		5	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tabanidae	<i>Tabanus Sp</i>					1	1	2	
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	<i>Tubifex</i>			4		25		29	
Total	3	5	8	22	22	18	5	38	459	1000	4239	5759



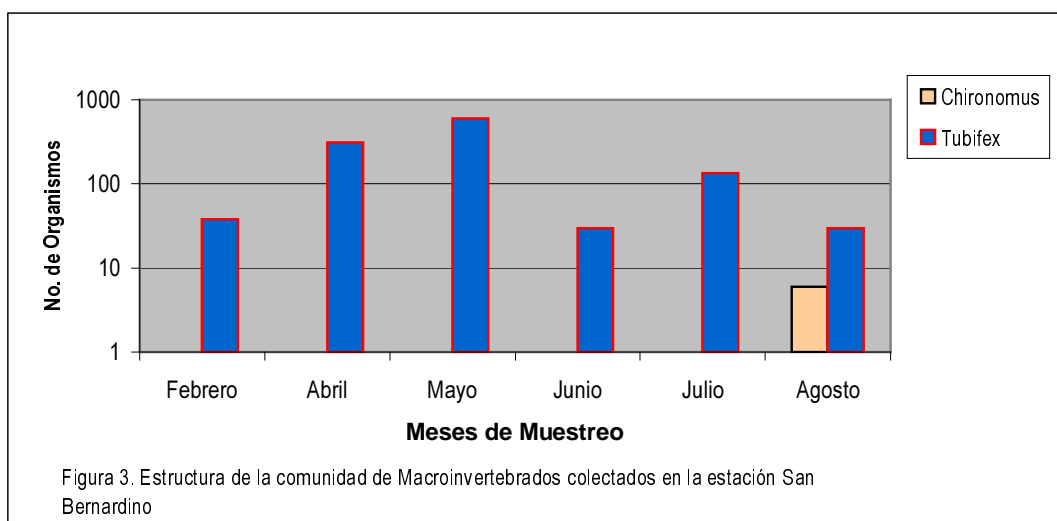
Esta zona presenta un predominio del género *Chironomus*, correspondiente al (98.81%), Indicador de aguas con abundante materia orgánica en descomposición o eutróficas. El 1.84% de los organismos colectados pertenecen al género *Culex*, indicador de aguas eutróficas, el 0.64% pertenecen al género *Physa*, los cuales son organismos que viven en aguas con mucha materia orgánica en descomposición y concentraciones bajas de oxígeno. El 0.51% pertenecen al género *Tubifex*, los cuales son organismos que viven en aguas con mucha materia orgánica en descomposición y concentraciones bajas de oxígeno. Individuos pertenecientes a los géneros *Ferrisia*, *Placobdella*, *Cylicobdella*, *Psychoda*, *Limnophora*, *Simullium*, *Argia*, *Andogyrus*, *Brachideuptera*, *Tabanus*, *Georysus*, *Ranthus*, *Donacia* y *Lugesia* presentan poca abundancia (Tabla 3; Figura 2). Organismos en su mayoría resistentes a alteraciones por contaminación del ecosistema, aguas meso a eutróficas.

### 7.1.3 Estación San Bernardino

El número total de organismos colectados en esta estación durante el período de muestreo fue de 1148. Entre los cuales se encontraron organismos pertenecientes a 2 Phylum, 2 clases, 2 ordenes, 2 familias y 2 géneros (Tabla 4).

Tabla 4. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la estación San Bernardino entre Febrero y Agosto de 2002

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Febrero	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i>						6	6
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	<i>Tubifex</i>	38	310	600	30	134	30	1142
Total	2	2	2	2	38	310	600	30	134	36	1148



El 99.47% de los organismos colectados en esta estación pertenece al género *Tubifex*, género característico de aguas con niveles de oxígeno muy bajos por lo cual se le considera indicador de aguas muy contaminadas. El 0.52% corresponde al género *Chironomus*. Género que al igual que el anterior tolera bajas concentraciones de oxígeno y también es considerado indicador de aguas con alteración alta en la calidad (Tabla 4; Figura 3).

La estructura general de la comunidad de macroinvertebrados está representada por géneros característicos de aguas alteradas en su calidad (Figura 4).

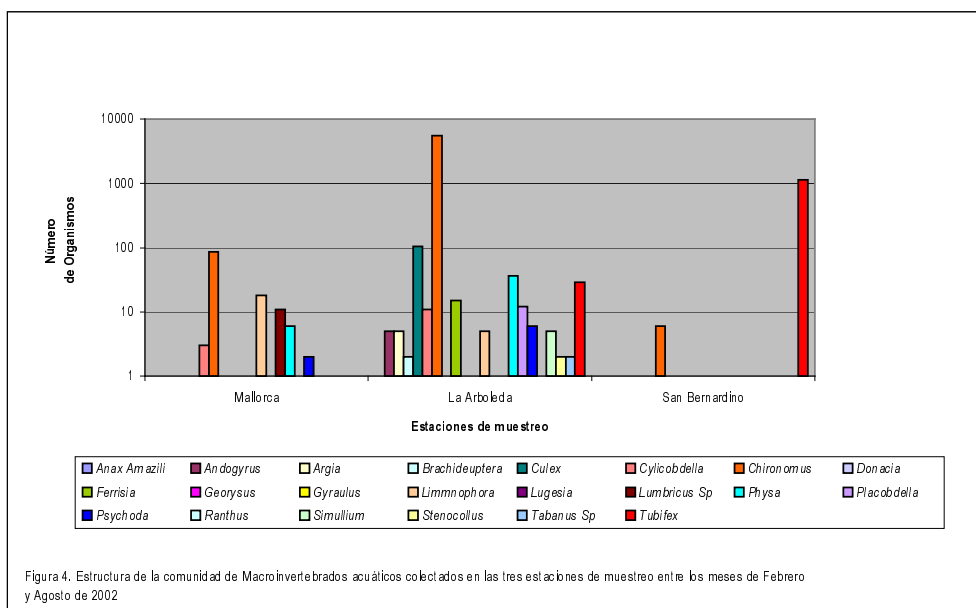
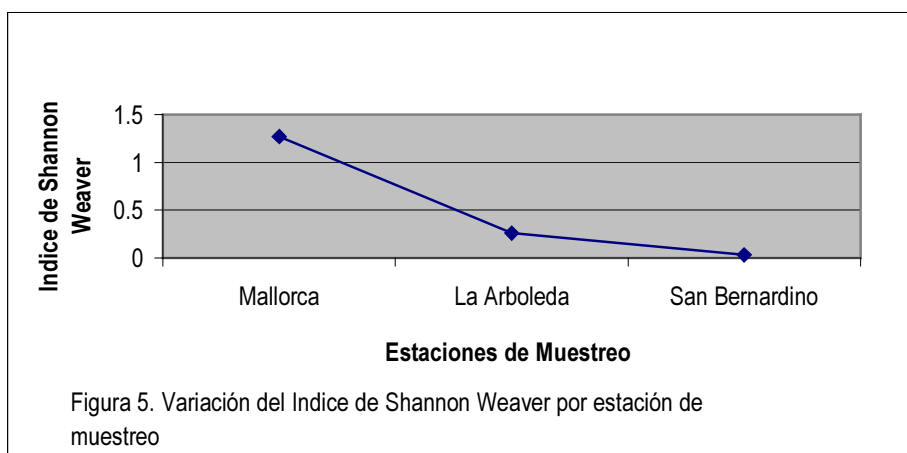


Figura 4. Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados acuáticos colectados en las tres estaciones de muestreo entre los meses de Febrero y Agosto de 2002

## 7.2 INDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON –WEAVER

Tabla 5. Índice de Shannon Weaver promedio por sitio de muestreo

SITIO DE MUESTREO	INDICE DE DIVERSIDAD	CARACTERISTICAS
Mallorca	1.27	Aguas medianamente contaminadas
La Arboleda	0.26	Aguas muy contaminadas
San Bernardino	0.03	Aguas muy contaminadas



### 7.2.1 Estación Mallorca

El índice de Shannon Weaver obtenido para esta estación fue de 1.27 (Tabla 5; Figura 5), valor correspondiente a aguas medianamente contaminadas. Este valor concuerda con la baja diversidad de organismos en la zona, lo cual indica el alto grado de alteración al que se encuentra expuesta la quebrada en esta estación por efecto del vertimiento de aguas residuales y otros desechos orgánicos.

### 7.2.2 Estación La Arboleda.

En esta estación el valor obtenido para el índice de Shannon Weaver fue 0.26 (Tabla 5; Figura 5), mostrando una baja diversidad de organismos por lo tanto, es un importante indicador del alto grado



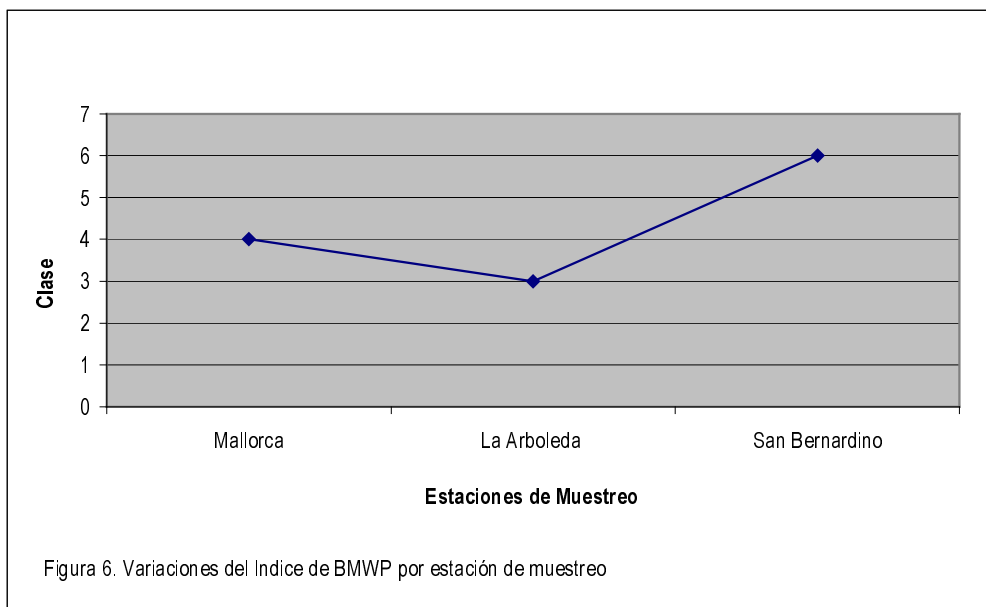
de alteración al que se encuentra expuesta la quebrada en esta zona por efecto del vertimiento de aguas residuales domésticas y otros desechos orgánicos. Las características del agua en este sector corresponden a aguas muy contaminadas.

### **7.2.3 Estación San Bernardino**

En esta estación se obtuvo un índice de diversidad de 0.03 (Tabla 5; Figura 5), valor correspondiente a aguas muy contaminadas. El valor obtenido muestra una diversidad de organismos casi nula, característica propia de aguas con muy alto grado de alteración por efecto del vertimiento de residuos sólidos y/o líquidos.

De acuerdo con los resultados anteriores se puede concluir que la diversidad en las tres estaciones es baja y disminuye a lo largo del cauce; esto como consecuencia del aumento de las cargas contaminantes a lo largo del mismo.

### 7.3 INDICE DE MONITOREO BIOLÓGICO BMWP (BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY)



#### 7.3.1 Estación Mallorca

Tabla 6. Índice de BMWP entre Febrero y Agosto de 2002 calculado para la Estación 1

Orden	Familia	Puntos	Clase	Calidad	Características
Odonata	Aeshnidae	5	IV	Dudosa	Aguas Contaminadas
Diptera	Chironomidae	2			
Odonata	Coenagrionidae	8			
Hirudiniiformes	Cylicobdellidae	2			
Odonata	Libellulidae	6			
Diptera	Muscidae	7			
Basommatophora	Physidae	2			
Diptera	Psychodidae	2			
Diptera	Simuliidae	2			
Haptotaxida		2			
<b>Total</b>		<b>38</b>			

De acuerdo con el índice BMWP calculado para la zona (Tabla 6; Figura 6) esta se clasifica en la clase IV correspondiente a aguas contaminadas y de calidad dudosa; según adaptación realizada por Zamora (1999).

### 7.3.2 Estación La Arboleda

Tabla 7. Índice de BMWP entre Febrero y Agosto de 2002, calculado para la Estación 2

Orden	Familia	Puntos	Clase	Calidad	Características
Basommatophora	Ancylidae	4			
Diptera	Chironomidae	2			
Coleoptera	Chrysomelidae	4			
Odonata	Coenagrionidae	8			
Diptera	Culicidae	4			
Hirudiniiformes	Cylicobdellidae	2			
Coleoptera	Dytiscidae	8			
Coleoptera	Georyssidae	4			
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	2			
Coleoptera	Gyrinidae	7			
Coleoptera	Halipiidae	6			
Coleoptera	Hidrophilidae	3	III	Acceptable	Aguas medianamente Contaminadas
Diptera	Muscidae	7			
Diptera	Paridrinae	4			
Basommatophora	Physidae	2			
Tricladida	Planariidae	6			
Basommatophora	Planorbidae	2			
Diptera	Psychodidae	2			
Diptera	Simuliidae	2			
Diptera	Tabanidae	5			
Haplotaxida	Tubificidae	1			
Coleoptera	Ptyllodactilidae	8			
<b>Total</b>		<b>93</b>			

De acuerdo con el índice BMWP calculado para la zona (Tabla 7; Figura 6) esta se clasifica en la clase III correspondiente a aguas medianamente contaminadas y de calidad aceptable; según adaptación realizada por Zamora (1999).

### 7.3.3 Estación San Bernardino

Tabla 8. Índice de BMWP entre los meses de Febrero y Agosto calculado para la Estación 3

Orden	Familia	Puntos	Clase	Calidad	Características
Diptera	Chironomidae	2			
Haptotaxida	Tubificidae	1	VI	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas
<b>Total</b>		<b>3</b>			

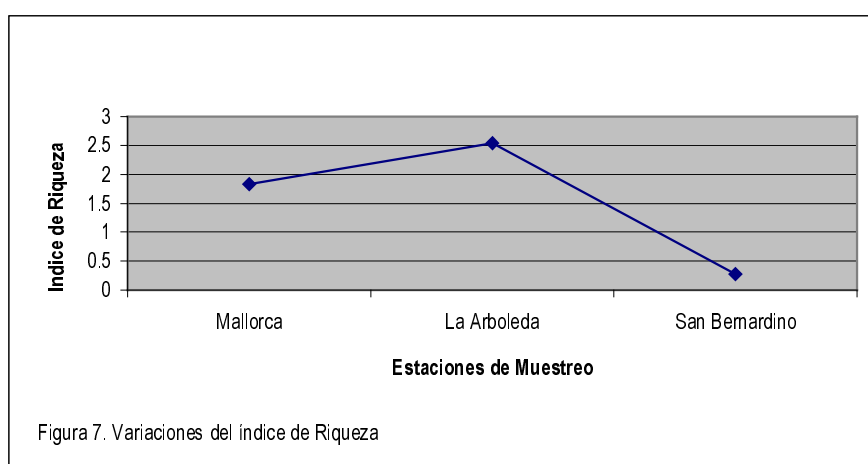
De acuerdo con el índice BMWP calculado para la zona esta se clasifica en la clase VI (Tabla 8; Figura 6) correspondiente a aguas fuertemente contaminadas y de calidad muy crítica; según adaptación realizada por Zamora (1999).

Según los valores obtenidos se puede concluir que las tres estaciones se están viendo afectadas de manera significativa por las descargas de aguas residuales, en este caso era de esperar que la estación La Arboleda (clase III) presentara un mayor índice respecto a la estación Mallorca (clase IV) condición que no se cumple ya que en la estación la Arboleda ocurre el efecto de borde como resultado de la caída de un afluente con menor carga orgánica, además esta zona tiene mayor caudal y velocidad de corriente, factores que favorecen la leve recuperación de la fuente de agua en este lugar. La estación San Bernardino a pesar de encontrarse en una zona rural es la más afectada por las cargas contaminantes debido a que en ella tienden a acumularse todos los residuos recogidos durante el trayecto de la quebrada.

## 7.4 ÍNDICE DE RIQUEZA (Índice de Margalef)

Tabla 9. Variaciones del índice de Riqueza (Margalef)

Estación	S	N	D
Mallorca	10	134	1.837
La Arboleda	22	5759	2.541
San Bernardino	2	1148	0.283



### 7.4.1 Estación Mallorca

El índice de riqueza calculado para esta zona 1.83 (Tabla 9; Figura 7) denota una pobre estructura de la comunidad, lo cual junto con los datos antes mencionados permite concluir que las aguas de esta estación presentan una alteración media en su calidad.

### 7.4.2 Estación La Arboleda

El índice de riqueza calculado para esta zona 2.54 (Tabla 9; Figura 7) denota una pobre estructura de la comunidad. Importante indicador de la alteración del ecosistema.

### **7.4.3 Estación San Bernardino**

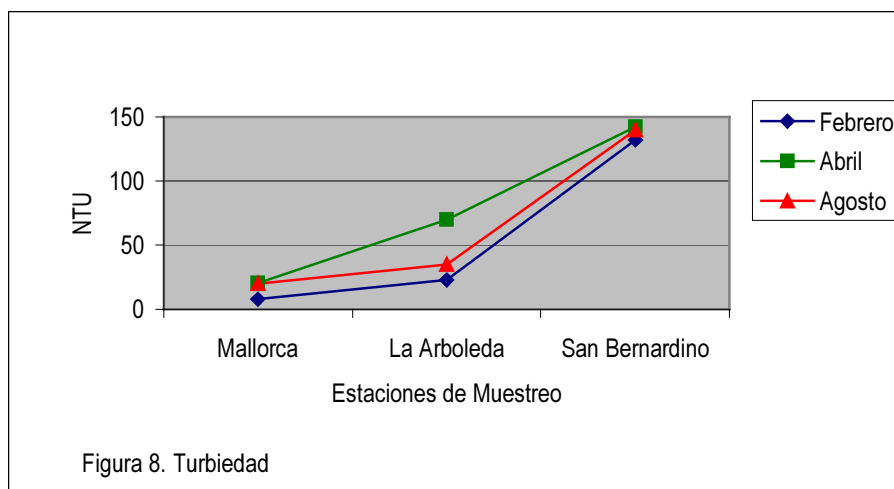
El índice de riqueza calculado para esta zona 0.28 (Tabla 9; Figura 7) denota una pobre estructura de la comunidad. Lo cual es un indicador importante de la alteración del ecosistema por efecto del vertimiento de aguas residuales domésticas.

Los valores obtenidos para las tres estaciones señalan una pobre estructura de la comunidad, lo cual es un importante indicador de alto grado de contaminación al que se encuentran expuestas, principalmente en la estación San Bernardino cuyo índice de riqueza es el más bajo (0.28). Al igual que para el índice de biomonitoreo BMWP, el índice de riqueza en la estación La Arboleda (2.54) muestra una leve recuperación debido a las razones ya mencionadas respecto al efecto de borde, el aumento de caudal y velocidad de corriente en esta zona. Era de esperar que la estación Mallorca por encontrarse más cercana al nacimiento de la quebrada fuera la menos contaminada pero, los datos anteriores, tanto para BMWP (clase IV) como para riqueza (1.83) señalan lo contrario, debido a que la fuente desde su nacimiento está recibiendo cargas contaminantes.

## **7.5 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA HÍDRICA**

### **7.5.1 Turbiedad**

Según Roldán (1992) citado por Vasquéz (2001), por encontrarse por debajo de 200 unidades, el valor promedio para la estación Mallorca, 16.16 NTU (cuyo máximo es 20.5 NTU y mínimo 8 NTU) (Tabla 11, Figura 8) indica que no existe gran incidencia en la transparencia y la capacidad de penetración lumínica; por ende, en los niveles energéticos y los procesos productivos del ecosistema acuático.



El valor promedio obtenido para La estación Arboleda es de 42.66 NTU (cuyo valor máximo es 70 NTU y mínimo 23 NTU), (Tabla 12; Figura 8) revela la incidencia de material suspendido en el ecosistema, material que afecta de forma leve la transparencia y la capacidad de penetración lumínica y por consiguiente los niveles energéticos y los procesos productivos del mismo, ambos, factores importantes en la dinámica energética.

En la estación San Bernardino el valor promedio es de 138 NTU (con un mínimo de 132 NTU y un máximo de 142 NTU) (Tabla 13; Figura 8) muestra el cuerpo de agua se está viendo afectado de forma drástica por sólidos suspendidos tanto orgánicos como inorgánicos los cuales alteran la transparencia y la capacidad de penetración lumínica de la quebrada, por lo tanto, los procesos productivos y sus niveles energéticos.

Las tres estaciones registran incremento para los valores de turbiedad en abril (Tablas 11,12,13; Figura 8), como consecuencia del incremento en la pluviosidad, que contribuye con el arrastre de sedimentos y material alóctono, material que va a alterar la capacidad de penetración lumínica y la transparencia, ambas, de suma importancia para procesos productivos como la fotosíntesis.

### 7.5.2 Temperatura ambiental e hídrica

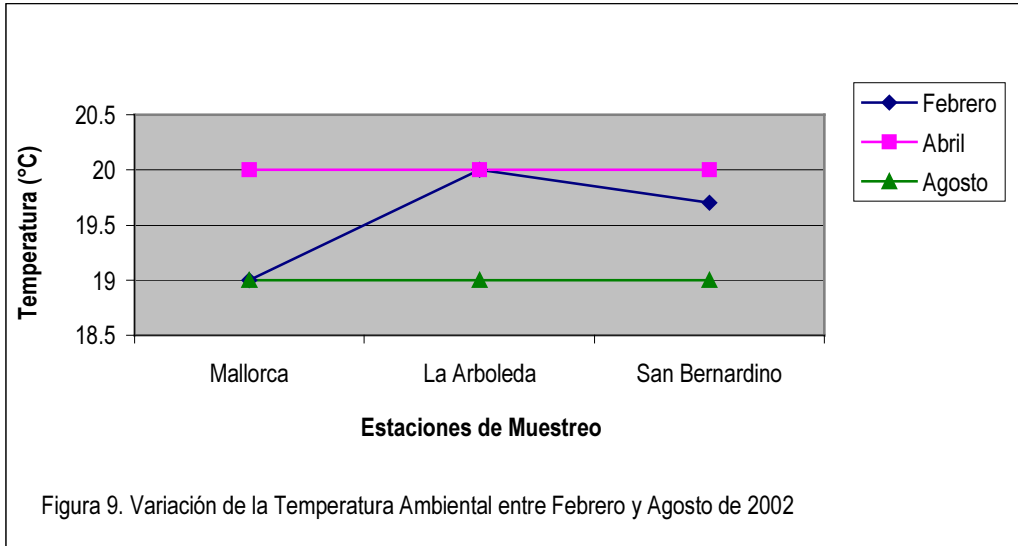


Figura 9. Variación de la Temperatura Ambiental entre Febrero y Agosto de 2002

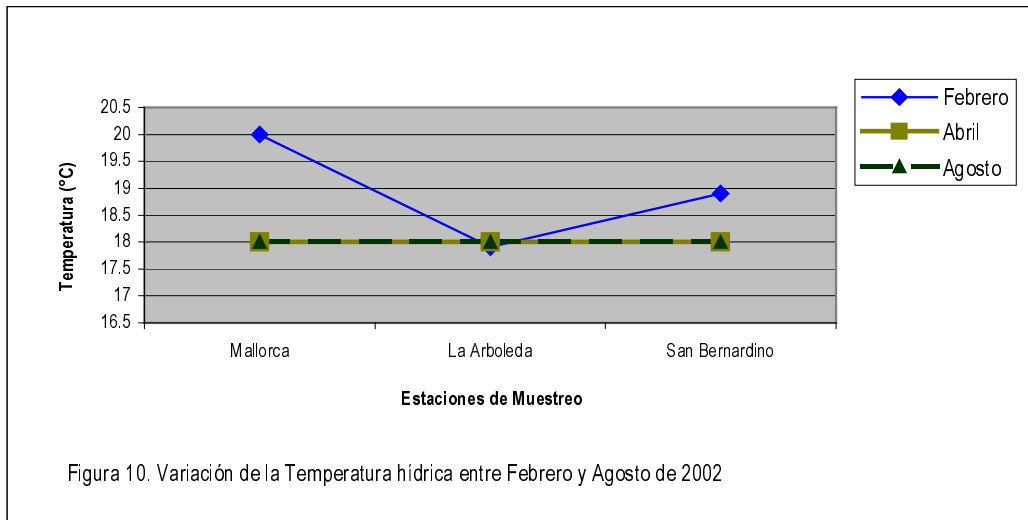


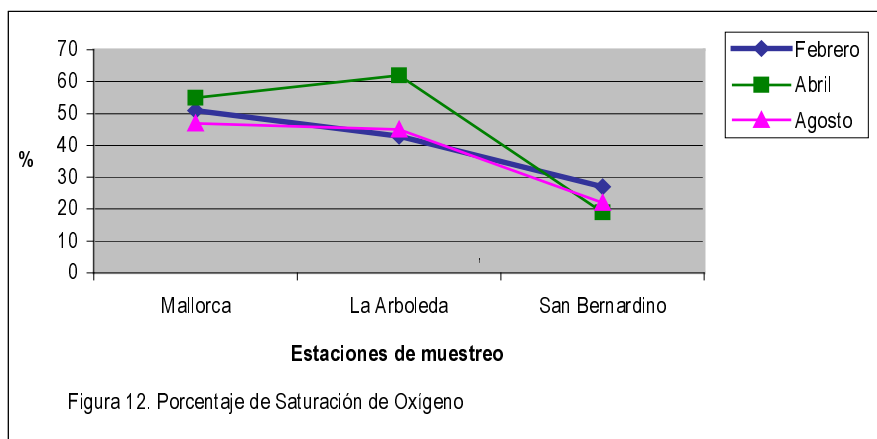
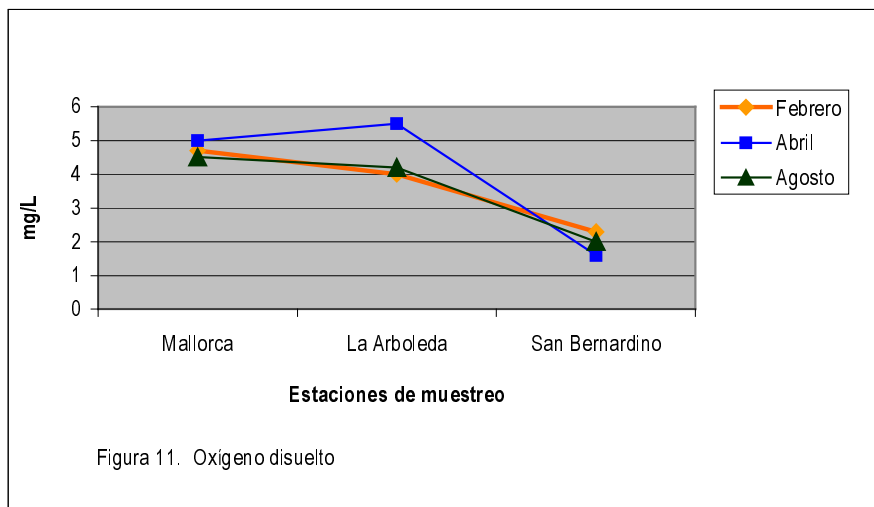
Figura 10. Variación de la Temperatura hídrica entre Febrero y Agosto de 2002

El valor de la temperatura ambiental promedio fue de 19.5 °C (Tablas 11,12,13; Figura 9) y la temperatura hídrica tuvo un promedio de 18.3°C (Tablas 11,12,13; Figura 10), Mostrando un comportamiento directamente proporcional entre ambas. Factor explicable por la poca profundidad de la quebrada, permitiendo la conservación del calor y una buena mezcla; lo cual 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.

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



Las fluctuaciones presentadas en el porcentaje de saturación de oxígeno, durante los meses de muestreo, para las estaciones Mallorca y La Arboleda, están directamente relacionadas con la temperatura hídrica y la precipitación. En el mes de abril se observó un incremento en el porcentaje de saturación para estas dos estaciones (55% y 62% respectivamente) (Tablas 11,12; Figura 12),

durante esta época la temperatura hídrica (18°C) se mantuvo constante (Tablas 11,12,13; Figura 10), y la precipitación fue la mas alta de todos los meses de muestreo (253mm) (Tabla 14; Figura 24). El aumento del caudal y la velocidad de la corriente de la quebrada, como consecuencia del incremento en la precipitación, permite mayor intercambio de oxígeno entre el medio atmosférico y la fuente de agua, esto quiere decir que hay mayor oxigenación de la misma. Al disminuir la temperatura, los procesos degradativos de materia orgánica se hacen más lentos, por lo tanto la demanda de oxígeno es menor. Lo contrario ocurre para estas dos estaciones en el mes de agosto cuando se presenta una notable disminución en la precipitación (Tabla 14; Figura 24) y un incremento en la temperatura ambiental (Tablas 11,12,13; Figura 9). Las altas temperaturas aceleran los procesos degradativos, por lo tanto, se consume mayor cantidad de oxígeno, la escasa precipitación genera, descenso de la velocidad de la corriente y del caudal de la quebrada, factores que contribuyen a que el intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el agua sea escaso, por lo tanto, el alto consumo de oxígeno por procesos degradativos, hace que el poco oxígeno que se puede intercambiar con la atmósfera se escasee rápidamente.

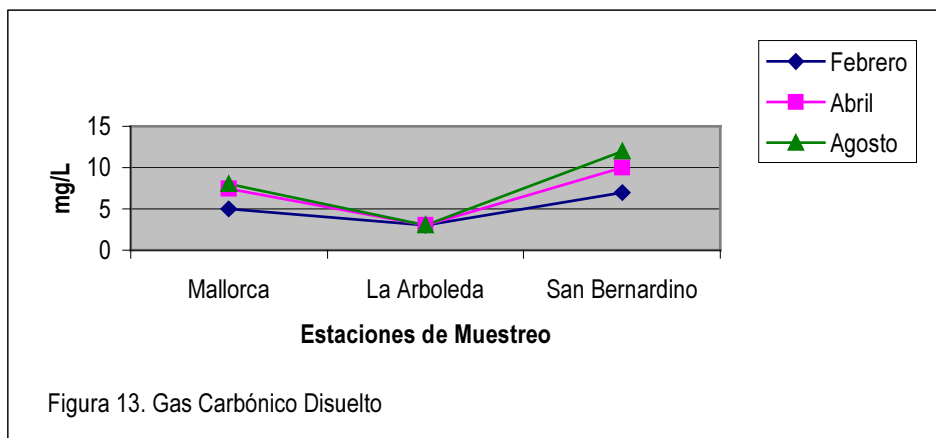
La estación San Bernardino tiene un comportamiento muy diferente en el mes de abril, a pesar de la elevada precipitación (253mm) (Tabla 14; Figura 24), que contribuye a aumentar la dinámica hídrica; y la disminución de la temperatura hídrica (Figura 10), el porcentaje de saturación de oxígeno decrece considerablemente en esta época (19%) (Tabla 13; Figura 12), comportamiento determinado por una mayor descarga de materia orgánica y sedimentos como consecuencia del arrastre de los mismos al aumentar la velocidad y el caudal de la quebrada. En el mes de agosto al contrario de las estaciones antes mencionadas, en la estación San Bernardino, el porcentaje de saturación tiene un leve incremento (22%) (Tabla 13; Figura 12), pero igual, continua determinando

que existe un alto grado de descomposición de materia orgánica, que proviene principalmente de la descarga de los colectores de aguas residuales.

A medida que se avanza en el recorrido de la quebrada se observa una disminución en el porcentaje de saturación de oxígeno (mínimo 19%, máximo 62%) (Tablas 11,12,13; Figura 12). En general, ninguna de las tres estaciones cumple con las condiciones aeróbicas adecuadas para el normal desarrollo de la biota acuática ya que se encuentra por debajo del 80% que corresponde al mínimo óptimo, según Roldán (1992).

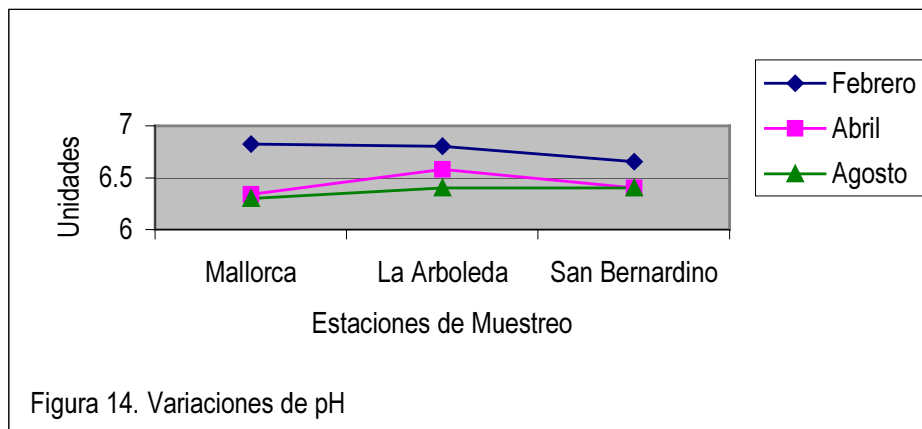
Los bajos valores reportados para este parámetro tienen una clara relación con la baja diversidad de macroinvertebrados encontrada en las zonas de estudio, como consecuencia de que son pocos los organismos que logran adaptarse a estas condiciones desarrollando estructuras especiales que les permitan sobrevivir.

#### 7.5.4 Gas carbónico disuelto



Las estaciones Mallorca (valor promedio 6.83 mg/L) y San Bernardino (valor promedio 9.6 mg/L) presentan un incremento para la concentración de gas carbónico disuelto en el mes de agosto (8 mg/L y 12 mg/L, respectivamente) (Tablas 11,13; Figura 13), debido al aumento de los procesos degradativos de materia orgánica, como consecuencia del ascenso de la temperatura ambiental. En la estación La Arboleda este valor (3.0 mg/L) (Tabla 12; Figura 13) se mantiene constante durante los meses de muestreo. Las concentraciones de gas carbónico registradas para las tres estaciones son congruentes con los bajos porcentajes de saturación de oxígeno que estas presentan, lo cual es un importante indicador de los procesos de alteración a los que está expuesta la quebrada. Según Roldán (1992) citado por Vásquez (2001), valores superiores a 20 mg/L se consideran limitantes para el desarrollo de la biota acuática, por lo tanto la estación San Bernardino es la mas afectada por los procesos de descomposición de materia orgánica teniendo en cuenta que en agosto se registra el valor máximo (12 mg/L) (Tabla 13; Figura 13), por consiguiente, se afectan de manera considerable los niveles tróficos del ecosistema acuático y en su defecto el normal desarrollo de la biota acuática.

## 7.5.5 pH

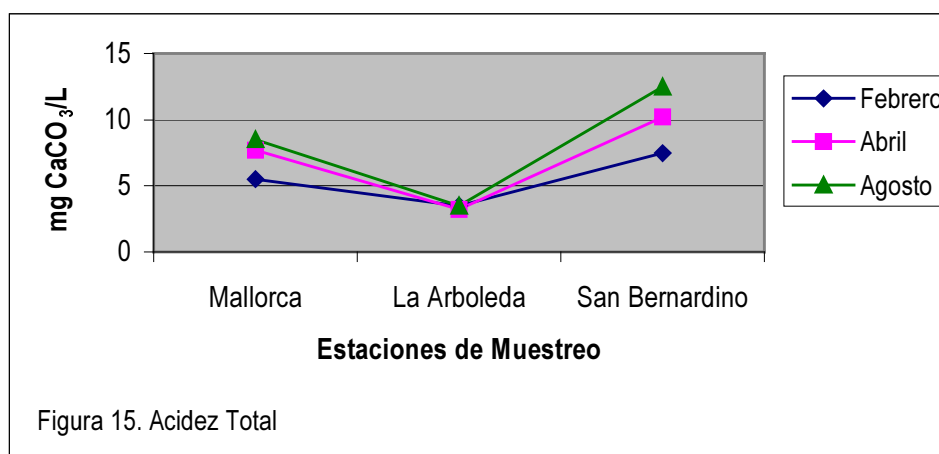


Los valores registrados para las tres estaciones no presentan fluctuaciones significativas durante los meses de muestreo, con un valor promedio de 6.49, un mínimo de 6.3 y un máximo de 6.82, (Tablas 11, 12, 13; Figura 14) son característicos de aguas ligeramente ácidas y están dentro del rango de los valores limitantes para el normal desarrollo de la biota acuática (4.5 – 8.5), según Roldán (1992) y citado por Vásquez (2001). La tendencia a valores de pH bajos tiene una relación congruente con las concentraciones de gas carbónico disuelto presentes en las tres estaciones, lo cual permite corroborar cierto grado de alteración del ecosistema acuático, por efecto, de la alta tasa de degradación de materia orgánica, proveniente principalmente, del vertimiento de aguas residuales domésticas.

Los rangos registrados para cada estación: Mallorca (6.3- 6.82) (Tabla 11; Figura 14), La Arboleda (6.4 - 6.8) (Tabla 12; Figura 14) y San Bernardino (7.5 - 12.5) (Tabla 13; Figura 14), muestran que la estación San Bernardino es la más afectada por las descargas de materia orgánica y por ende por los procesos de degradación de la misma. Lo anterior es congruente con la elevada alteración de la

estructura de macroinvertebrados acuáticos encontrada en las tres estaciones (Figura 4), principalmente en San Bernardino (Tabla 4; Figura 3)

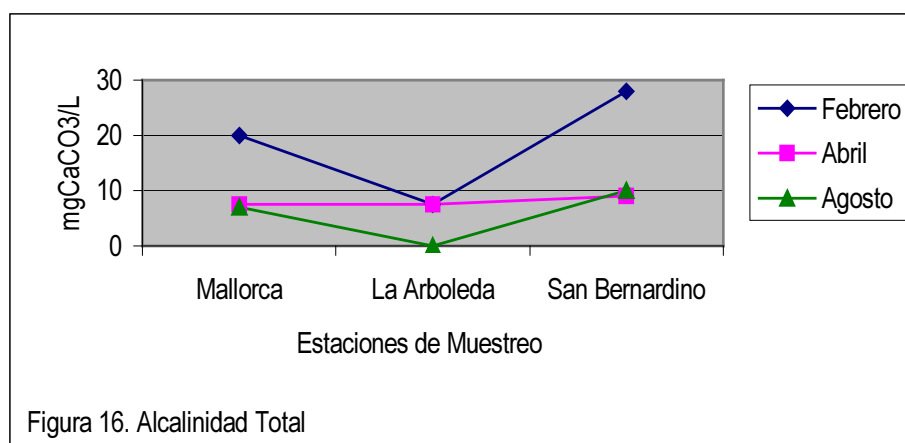
### 7.5.6 Acidez total



Al igual que el parámetro anterior, la acidez total es un factor limitante para el desarrollo de la biota acuática y está estrechamente relacionado con los procesos degradativos. Los valores promedio para las tres estaciones fueron: Mallorca (7.23 mg CaCO<sub>3</sub>/L con un rango entre 7.5 y 8.5 mg CaCO<sub>3</sub>/L), La Arboleda (3.4 mg CaCO<sub>3</sub>/L con un rango entre 3.2 y 3.5 mg CaCO<sub>3</sub>/L) y San Bernardino (10.06 mg CaCO<sub>3</sub>/L con un rango entre 7.5 y 12.5 mg CaCO<sub>3</sub>/L). Los registros máximos se presentaron en el mes de agosto para las estaciones Mallorca (8.5 mg CaCO<sub>3</sub>/L) y San Bernardino (12.5 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tablas 11, 13; Figura 15), como consecuencia del incremento en los procesos degradativos, debido al aumento de la temperatura ambiental (Figura 9) y la escasa precipitación (49 mm) (Tabla 14; Figura 24) registradas en este mes. Para la estación La Arboleda se registró un mínimo de 3.2 y un máximo de 3.5 en su acidez total, en consecuencia no hubo cambios significativos durante los meses de muestreo (Tabla 12; Figura 15).

Las condiciones ligeramente ácidas de las tres estaciones contribuyen con la desaparición de la biota acuática ya que estas condiciones afectan el metabolismo y la distribución de la misma.

### 7.5.7 Alcalinidad total



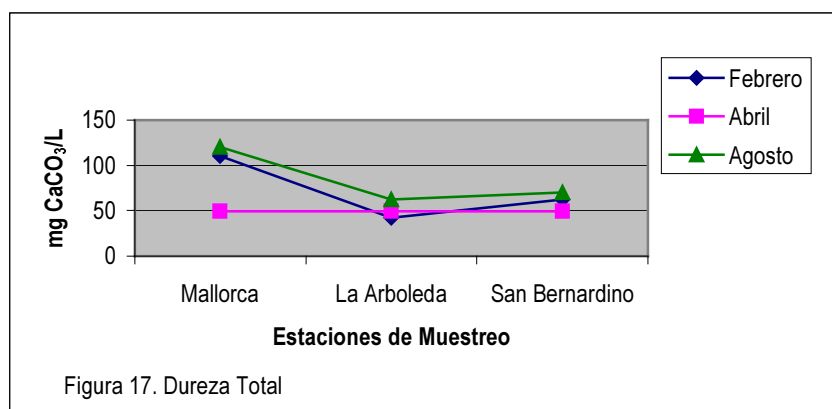
Los valores promedio para cada una de las estaciones fueron: Mallorca (11.5 mg CaCO<sub>3</sub>/L), La Arboleda (5.0 mg CaCO<sub>3</sub>/L) y San Bernardino (15.66 mg CaCO<sub>3</sub>/L). Los mínimos se registraron en agosto, para las estaciones Mallorca (7.0 mg CaCO<sub>3</sub>/L) y La Arboleda (0 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tablas 11, 12; Figura16), los máximos en febrero, para las estaciones Mallorca (20 CaCO<sub>3</sub>/L) y San Bernardino (28 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tablas 11,13; Figura 16).

Según Roldán (1992), debido a que los valores de pH de las tres estaciones están por debajo de 8.3 Unidades (Tablas 11,12,13; Figura 14), en las tres estaciones la alcalinidad está determinada por bicarbonatos.

Teniendo en cuenta la estrecha relación entre pH, alcalinidad total y gas carbónico disuelto y de acuerdo con los valores promedio (6.51 unidades, 10.72 mg CaCO<sub>3</sub>/L y 6.47 mg/L respectivamente)

registrados para cada uno de estos parámetros, se puede conocer que en el sistema se llevan a cabo procesos de respiración producto de las altas tasas de degradación de materia orgánica. La baja alcalinidad registrada en las tres estaciones de muestreo, indica que el sistema es muy 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 pobre estructura de la comunidad de macroinvertebrados en las tres estaciones (Figura 4).

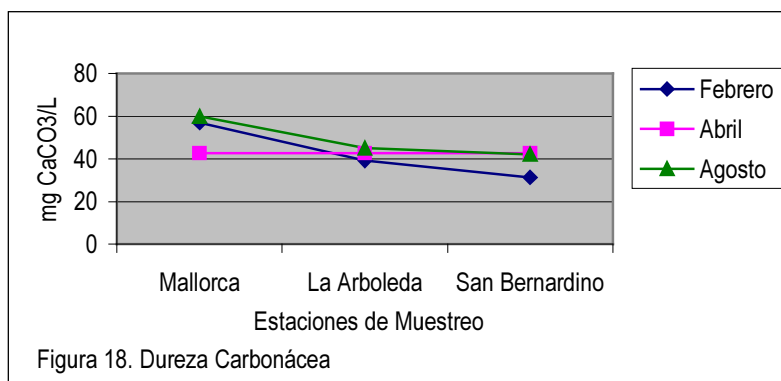
### 7.5.8 Dureza total y dureza carbonácea



De acuerdo con el valor promedio obtenido para la dureza total de la estación Mallorca (93.4 mg CaCO<sub>3</sub>/L, con un mínimo de 49.84 mg CaCO<sub>3</sub>/L y un máximo de 120 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tabla 11; Figura 17) es posible clasificar las aguas de esta estación según Sawyer y MacCarty, (1967) para propósitos sanitarios como semiduras. La dureza total promedio para las estaciones La Arboleda (51.52 mg CaCO<sub>3</sub>/L, con un mínimo de 42.72 mg CaCO<sub>3</sub>/L y un máximo de 60 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tabla 12; Figura 17) y San Bernardino (38.66 mg CaCO<sub>3</sub>/L, con un mínimo de 31.26 mg CaCO<sub>3</sub>/L y un máximo de 42.72 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tabla 13; Figura 17) permite clasificar las aguas de estas dos



estaciones, según Sawyer y MacCarty (1967) para propósitos sanitarios, como blandas. Dichos valores son indicadores de aguas con poca productividad.

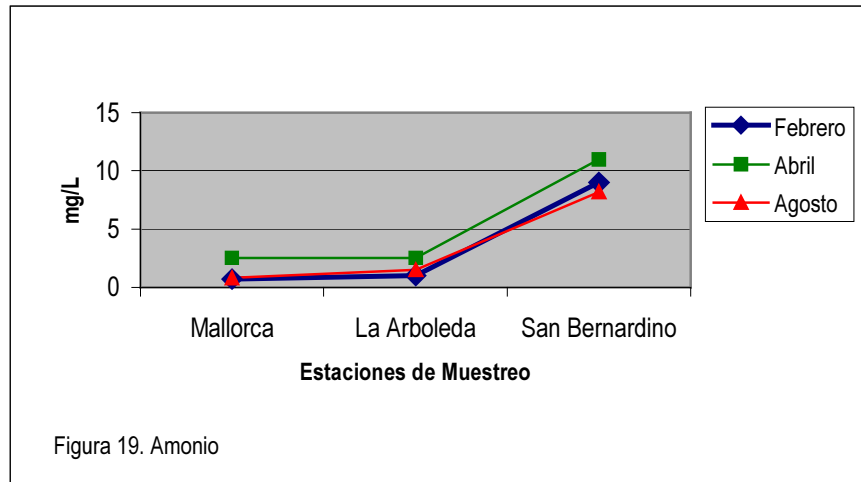


La dureza carbonácea promedio, para la estación Mallorca (53.22 mg CaCO<sub>3</sub>/L con un rango de 42.72 a 60 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tabla 11; Figura 18) corresponde al 56.98% de la dureza total promedio en esta estación. El valor promedio, de la dureza carbonácea, en la estación La Arboleda (42.23 mg CaCO<sub>3</sub>/L con un rango de 38.98 a 45 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tabla 12; Figura 18), corresponde al 81.96% de la dureza total promedio para esta estación y en la estación San Bernardino la dureza carbonácea promedio (38.66 mg CaCO<sub>3</sub>/L con un rango de 31.26 a 42.72 mg CaCO<sub>3</sub>/L) (Tabla 13; Figura 18), corresponde al 63.67% de la dureza total promedio para esta estación. Dichos valores indican que en las tres estaciones de muestreo existe una baja capacidad amortiguadora sin embargo, la estación La Arboleda, respecto a las otras dos estaciones, muestra una relativa mejor capacidad amortiguadora, sin llegar a niveles óptimos.

### 7.5.9 Amonio y nitritos

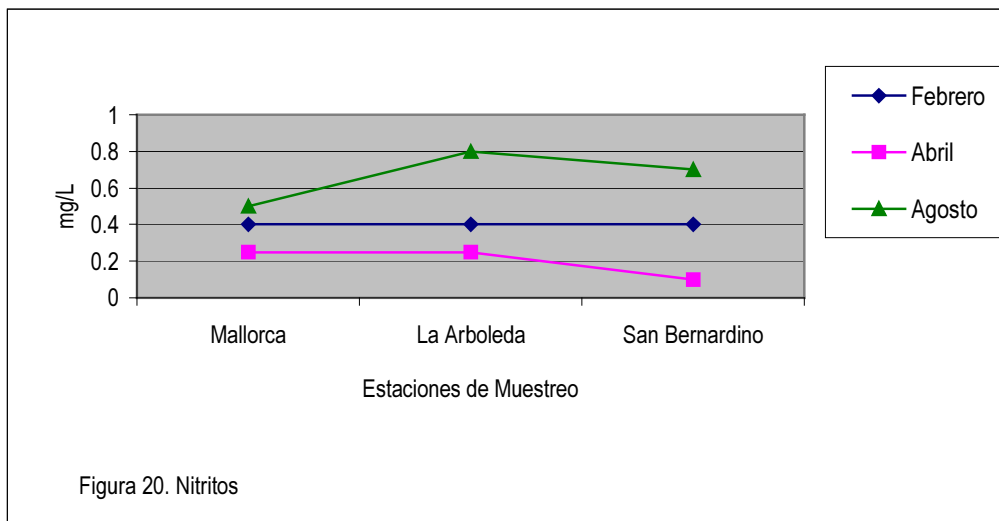
Los valores, promedio, registrados para amonio fueron: 1.33 mg/L para la estación Mallorca, 1.66 mg/L para la Arboleda y 9.4 mg/L para San Bernardino, cuyos rangos estuvieron entre: 0.7 y 2.5

mg/L para Mallorca (Tabla 11; Figura 19), 1.0 y 2.5 mg/L para La Arboleda (Tabla 12; Figura 19) y 8.2 y 11 mg/L para San Bernardino (Tabla 13; Figura 19)



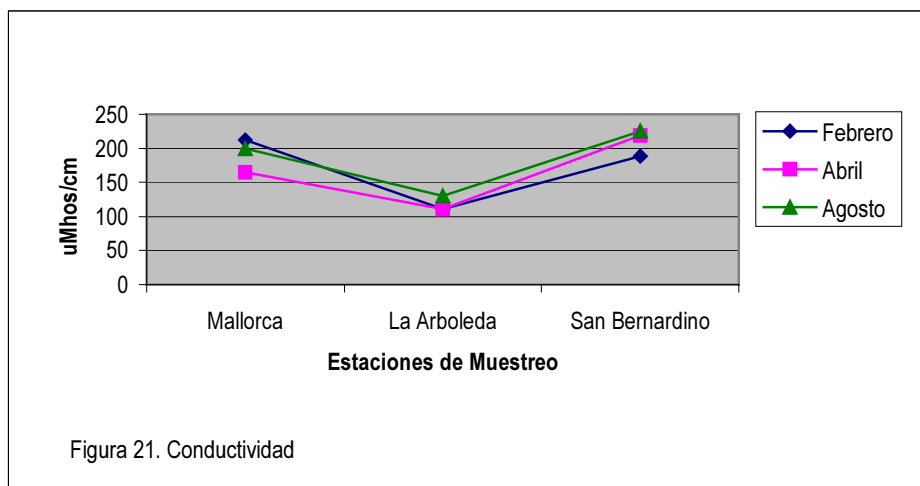
En el mes de abril se registraron los máximos para las tres estaciones (2.5 y 11 mg/L) (Tablas 11,12,13; Figura19), esto como consecuencia del incremento en la pluviosidad, factor que contribuye a generar mayor aporte de materia orgánica y otro material alóctono al sistema, por arrastre e infiltraciones provenientes de vaciaderos de desechos. Según, Vásquez (2001), dichos registros sobrepasan los valores mínimos permitidos (0.5 mg/L).

Los registros antes mencionados permiten conocer el elevado aporte de materia orgánica al sistema proveniente principalmente del vertimiento de aguas residuales a la fuente de agua.



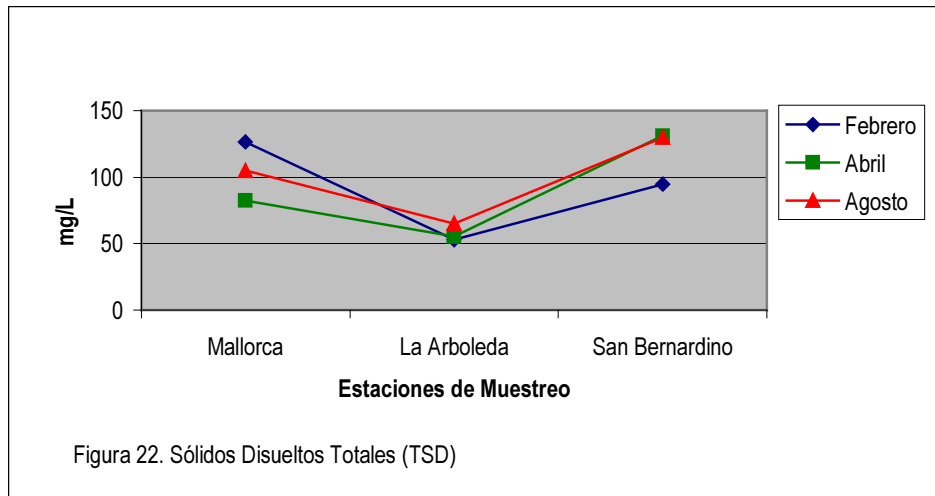
Las concentraciones registradas para nitritos (Mayores a 0.5 mg/L) (Tablas 11,12,13; Figura 20) superan los niveles mínimos permitidos (0.05 mg/L), según Vázquez (2001), estos registros indican niveles de degradación de materia orgánica altos.

### 7.5.10 Conductividad y Sólidos Disueltos Totales



Los valores promedio obtenidos para la conductividad en las estaciones: Mallorca (192.33  $\mu\text{Mhos/cm}$ , con un rango de 165 a 212  $\mu\text{Mhos/cm}$ ) (Tabla 11; Figura 21), La Arboleda (117.33  $\mu\text{Mhos/cm}$  con un rango de 111 a 130  $\mu\text{Mhos/cm}$ ) (Tabla 12; Figura 21) y San Bernardino (211  $\mu\text{Mhos/cm}$ , con un rango de 189 a 225  $\mu\text{Mhos/cm}$ ) (Tabla 13; Figura 21), indican que existe una alta actividad iónica en el sistema por la tendencia a la acumulación de materia orgánica y por lo tanto, a su tasa de degradación.

Los valores promedio para sólidos disueltos totales en las estaciones: Mallorca (104.7 mg/L con un rango entre 82.5 a 126.6 mg/L) (Tabla 11; Figura 22), La Arboleda (57.83 mg/L con un rango entre 53 y 65 mg/L) (Tabla 12; Figura 22) y San Bernardino (118.63 mg/L con un rango entre 94.5 y 131.4 mg/L) (Tabla 13; Figura 22) indican las altas tasas de degradación a las que se encuentra expuesta la quebrada, esto teniendo como base que los valores mínimos para sólidos disueltos se encuentran entre 10 y 20 mg/L, según Vásquez (2001).



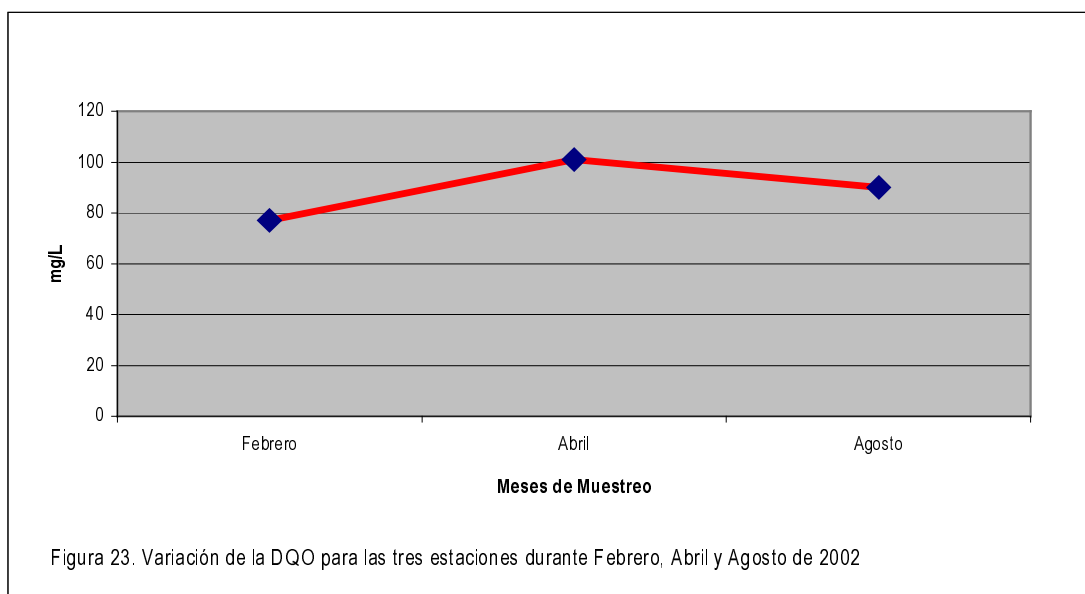
Los registros obtenidos para conductividad y sólidos disueltos totales, en las tres estaciones de muestreo se deben principalmente a la descarga de materia orgánica proveniente del vertimiento de aguas residuales e infiltraciones de vaciaderos de desechos. Lo que está en concordancia con los registros para amonio y nitritos.

El comportamiento de estos valores a lo largo de los meses de muestreo depende de la variación de las descargas de materia orgánica en la fuente de agua, de los procesos degradativos de estas descargas y de los factores que aceleran o inhiben dichos procesos como la temperatura.

### 7.5.11 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 10. DQO durante Febrero, Abril y Agosto de 2002

Febrero	Abril	Agosto
77mg/L	101mg /L	90 mg/L



La DQO fue tomada para las tres estaciones en general. El valor mas alto se registra en el mes de abril (101 mg/L) (Tabla 10; Figura 23), dicho comportamiento permite inferir que durante este mes hubo un incremento en la descarga de materia orgánica y los procesos generales de oxidación, esto como se mencionó antes por efecto de la elevada pluviosidad (Figura 24) la cual genera un mayor aporte de material alóctono por lixiviación y escorrentias. En el mes de agosto el valor para este parámetro decrece de nuevo (90 mg/L) (Tabla 10; Figura 23) debido a que el material alóctono aportado por lixiviación y escorrentias disminuye notablemente.

Tabla 11. Variables Físicoquímicas en la estación Mallorca durante Febrero, Abril y Agosto de 2002

<b>Parámetro</b>	<b>Febrero</b>	<b>Abril</b>	<b>Agosto</b>
T° ambiental (°C)	20	20	19
T° del agua (°C)	19	18	18
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.7	5.0	4.5
% saturación de oxígeno	51%	55%	47%
Gas carbónico (mg/L)	5.0	7.5	8
pH	6.82	6.34	6.3
Acidez Total	5.5	7.7	8.5
Dureza Carbonácea (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	56.96	42.72	60
Dureza Total mg (CaCO <sub>3</sub> /L)	110.36	49.84	120
Alcalinidad Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	20	7.5	7
Salinidad (‰)	0	0	0
Conductividad (	212	165	200
Amonio (mg/L)	0.7	2.5	0.8
Nitritos (mg/L)	> 0,5	0.25	0.5
Turbiedad (NTU)	8	20.5	20
T.S.D (mg/L)	126.6	82.5	105

Tabla 12. Variables Físicoquímicas en la estación La Arboleda durante Febrero, Abril y Agosto de 2002

<b>Parámetro</b>	<b>Febrero</b>	<b>Abril</b>	<b>Agosto</b>
T° ambiental (°C)	18.0	20.0	19.0
T° del agua (°C)	17.9	18.0	18.0
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.0	5.5	4.2
% saturación de oxígeno	43	62	45
Gas carbónico (mg/L)	3.0	3.0	3.0
pH	6.80	6.6	6.4
Acidez Total	3.5	3.2	3.5
Dureza Carbonácea (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	39.0	42.7	45.0
Dureza Total mg (CaCO <sub>3</sub> /L)	42.7	49.8	62.0
Alcalinidad Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	7.5	7.5	0.0
Salinidad (‰)	0.0	0.0	0.0
Conductividad (	111.0	111.0	130.0
Amonio (mg/L)	1.0	2.5	1.5
Nitritos (mg/L)	>0.5	0.25	0.8
Turbiedad (NTU)	23.0	70.0	35.0
T.S.D (mg/L)	53.0	55.5	65.0

Tabla 13. Variables Fisicoquímicas en la estación San Bernardino durante Febrero, Abril y Agosto de 2002

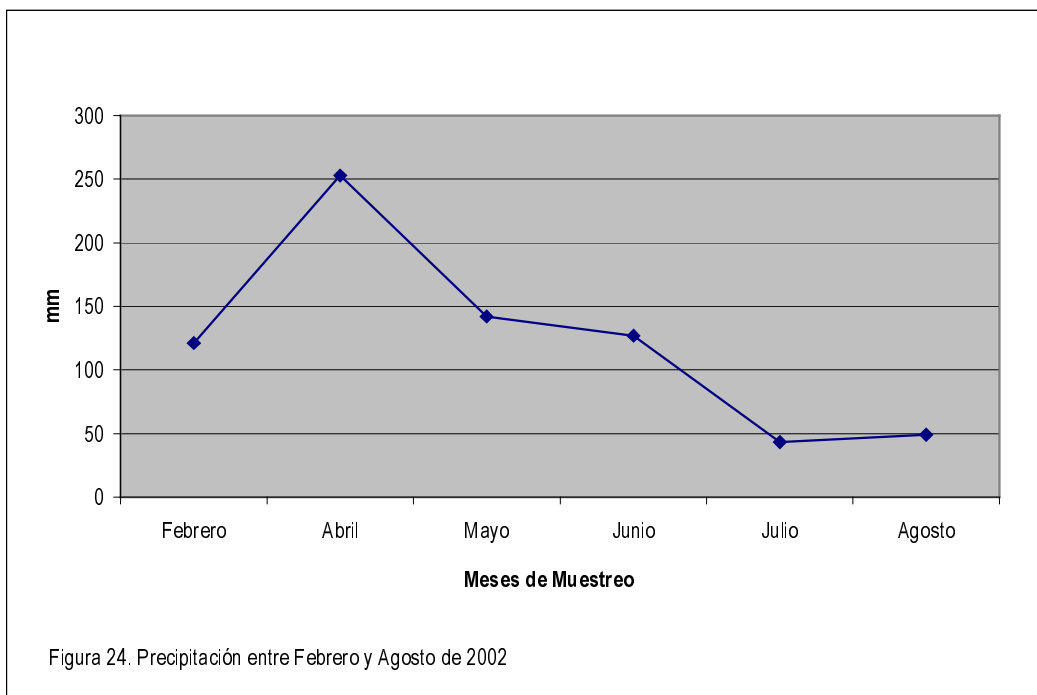
<b>Parámetro</b>	<b>Febrero</b>	<b>Abril</b>	<b>Agosto</b>
T° ambiental (°C)	19.7 °C	20°C	19
T° del agua (°C)	18.9° C	18°C	18
Oxígeno disuelto (mg/L)	2.3	1.6	2
% saturación de oxígeno	27%	19%	22%
Gas carbónico (mg/L)	7.0	10	12
pH	6.65	6.4	6.4
Acidez Total	7.5	10.2	12.5
Dureza Carbonácea (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	31.26	42.72	42
Dureza Total mg (CaCO <sub>3</sub> /L)	62.3	49.84	70
Alcalinidad Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	28	9.0	10.0
Salinidad (‰)	0	0	0
Conductividad (	189	219	225
Amonio (mg/L)	9.0	11	8.2
Nitritos (mg/L)	>0.5	1.0	0.7
Turbiedad (NTU)	132	142	140
T.S.D (mg/L)	94.5	131.4	130



Tabla 14. Precipitación entre Febrero y Agosto de 2002

Mes	mm
Febrero	121
Marzo	164
Abril	253
Mayo	142
Junio	127
Julio	43
Agosto	49

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros. Granja Fundación José María Córdoba (Vereda San Joaquín)



## 8. CONCLUSIONES

- ✓ La estructura de macroinvertebrados en la estación Mallorca se encuentra representada por 10 géneros, 9 familias, 5 ordenes y 3 clases para un total de 142 individuos. En la estación La arboleda dicha estructura está representada por 22 géneros, 22 familias, 8 ordenes y 5 clases y un total de individuos de 5759 y en la estación San Bernardino por 2 géneros, 2 familias, 2 ordenes y 2 clases con 1148 individuos en total.
  
- ✓ De acuerdo con el análisis biológico de las estaciones de muestreo, la estación San Bernardino es la más alterada ya que presenta una baja diversidad de organismos y una alta riqueza del género *Tubifex*, la estación Mallorca muestra una alteración media de acuerdo con los registros obtenidos para diversidad y riqueza, un poco más altos que para la estación antes mencionada, sin alcanzar valores óptimos. Los relativamente altos valores registrados en la estación Arboleda, para diversidad, indican mejores condiciones en cuanto a la calidad del espejo de agua, sin embargo no alcanza los valores óptimos para considerarla como no alterada.
  
- ✓ La estructura de macroinvertebrados de la quebrada está conformada por géneros indicadores de aguas medianamente alteradas y muy alteradas.

- ✓ En las tres estaciones predominan organismos indicadores de aguas eutrofizadas por efecto de contaminación orgánica. Principalmente en la estación San Bernardino donde se encontraron en gran cantidad organismos pertenecientes al género *Tubifex*, el cual es un importante indicador de aguas fuertemente contaminadas por exceso de materia orgánica.
- ✓ De acuerdo al índice de biomonitorio biológico (BMWP) calculado: La estación 1 (Mallorca) pertenece a la clase IV que corresponde a aguas contaminadas y de calidad dudosa, la estación 2 (La Arboleda) pertenece a la clase III que corresponde a aguas medianamente contaminadas y de calidad aceptable y la estación 3 (San Bernardino) pertenece a la clase VI que corresponde a aguas fuertemente contaminadas y de calidad muy crítica.
- ✓ La pobre estructura de la comunidad de macroinvertebrados en las tres estaciones según el índice de riqueza, es un importante indicador de la alteración del ecosistema por vertimiento de aguas residuales domésticas.
- ✓ La estación 2 muestra una leve recuperación en cuanto a la estructura de macroinvertebrados, respecto a la estación 1, esto como consecuencia de la presencia del efecto de borde producido por la unión de un afluente con menor grado de contaminación. Razón por la cual el análisis biológico de la estación 2 indica aguas medianamente contaminadas.
- ✓ Existe una clara concordancia entre los registros para fisicoquímica y el carácter bioindicador de los macroinvertebrados.

- ✓ La calidad Físicoquímica y biológica de la quebrada presentan un alto grado de deterioro como consecuencia de la descarga de aguas residuales.
- ✓ Los registros obtenidos para turbiedad permiten establecer el alto aporte de sólidos suspendidos tanto orgánicos como inorgánicos en las tres estaciones. Es posible concluir que existe un aporte bajo en la estación Mallorca, medio en La Arboleda y alto en San Bernardino de acuerdo con los valores promedio registrados (16.16, 42.66 y 138 NTU; respectivamente).
- ✓ Los bajos valores registrados para alcalinidad total indican la deficiente capacidad del sistema para mantener procesos biológicos, productividad sostenida y duradera, por consiguiente permite explicar la pobre estructura en la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada.
- ✓ La quebrada, en las tres estaciones muestreadas está alterada por vertimiento de aguas residuales, por lo tanto no es posible usarla para fines como: recreación, riego, consumo humano, piscicultura, a menos que se someta a tratamiento para su recuperación.
- ✓ Los registros para dureza total indican que las aguas de las zonas de muestreo son poco productivas, razón por la cual existen índices de diversidad y riqueza bajos.
- ✓ Los valores reportados para dureza carbonácea indican la deficiente capacidad amortiguadora del sistema en las tres estaciones, un poco mejor en la Arboleda, sin alcanzar los niveles óptimos. Por lo tanto existe una deficiente capacidad para mantener en equilibrio los procesos biológicos influyendo de forma notoria en el normal desarrollo de la biota acuática.

- ✓ Los niveles de amonio y nitritos, que sobrepasan los mínimos permitidos (0.5 y 0.05 mg/L; respectivamente), según Vásquez (2001), junto con los rangos para sólidos disueltos totales muestran el elevado aporte de materia orgánica al que se encuentran expuestas las tres estaciones; principalmente en San Bernardino.
- ✓ Los parámetros antes mencionados se encuentran relacionados con los registros obtenidos para conductividad, ambos indicadores la alta actividad iónica a la que se encuentra sometido el sistema por la tendencia a la acumulación de materia orgánica y por lo tanto a su tasa de degradación.
- ✓ Los valores de DQO muestran elevadas descargas de materia orgánica y presencia de procesos generales de oxidación en el ecosistema acuático.
- ✓ Los registros obtenidos para acidez total están estrechamente relacionados con procesos degradativos, indicando la alteración del sistema el alto aporte de materia orgánica.
- ✓ Los porcentajes de saturación de oxígeno en las tres estaciones Mallorca (51%), la Arboleda (50%) y San Bernardino (22.66%), se encuentran por debajo del mínimo óptimo (80%) para el normal desarrollo de la biota acuática. Estos valores son un indicador importante de las altas tasas de degradación de materia orgánica a las que está expuesta la quebrada (principalmente en la estación San Bernardino).
- ✓ Existe coherencia entre los valores de gas carbónico disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno. La relación de estos permite conocer los altos procesos de respiración que se llevan a

cabo en las tres estaciones, especialmente en la estación 3 (San Bernardino), y que dichos procesos están determinados por la descomposición de materia orgánica proveniente de las descargas de aguas residuales.

- ✓ El pH promedio de las tres estaciones (6.51), está dentro del rango de los valores para el normal desarrollo de la biota acuática (4.5-8.5) según Roldán (1992). El pH ligeramente ácido de la quebrada es congruente con las concentraciones de gas carbónico disuelto, indicando alteración por efecto de degradación de materia orgánica.
  
- ✓ El análisis de los parámetros fisicoquímicos y la caracterización de los macroinvertebrados acuáticos permitió comparar las estaciones de muestreo y determinar que la estación San Bernardino, a pesar de estar ubicada en una zona rural, es la más afectada por la carga de materia orgánica que sé que se acumulan todos los residuos traídos a lo largo de su recorrido por la zona urbana.
  
- ✓ El vertimiento de aguas residuales ha afectado de manera considerable la calidad fisicoquímica de la quebrada provocando la desaparición de organismos de aguas oligotróficas, disminuyendo la diversidad y riqueza de la fauna béntica, principalmente en la estación San Bernardino.

## 9. RECOMENDACIONES

- ◆ Tener en cuenta en el planteamiento de cualquier solución, que la problemática de la quebrada no está aislada de la comunidad y por consiguiente se debe trabajar mancomunadamente en el proceso de recuperación de la fuente hídrica, a fin de obtener los mejores índices de continuidad en los resultados.
- ◆ Capacitar a la comunidad teniendo en consideración aspectos referentes a la problemática de la quebrada, alternativas económicas de manejo y recuperación de la misma; manejo de desechos sólidos orgánicos e inorgánicos y su aprovechamiento.
- ◆ Realizar continuamente talleres de educación ambiental que contribuyan a motivar el sentido de pertenencia de la comunidad hacia los recursos con los que cuentan para que su uso sea el más adecuado.
- ◆ Capacitar a la comunidad en temas como reciclar aguas residuales, por ejemplo las aguas del lavado de ropa; el aprovechamiento de aguas lluvias, generación de bioabonos a partir de

residuos orgánicos y obtención de biogas como subproducto de la recuperación de lodos y materia orgánica.

- ◆ Comprometer a la comunidad universitaria en la recuperación de las fuentes de agua, para que sea parte activa en la búsqueda de una solución permanente desde áreas específicas del conocimiento.
  
- ◆ Realizar reuniones continuas con la comunidad con el fin de conocer sus inquietudes.
  
- ◆ Aprovechar la información de este trabajo en beneficio de la comunidad, con el fin de argumentar la apremiante necesidad de detener el vertimiento de aguas residuales provenientes de los colectores de alcantarillado; para en un futuro próximo, proponer un plan de control que involucre organizaciones interdisciplinarias, encargadas de velar por su debido seguimiento y de esta manera recuperar la fuente de agua.
  
- ◆ Poner en marcha la construcción de la planta de tratamiento, que ya se encuentra diseñada, y darle un manejo adecuado para evitar que los residuos resultantes de esta, contaminen otras fuentes de agua.



## BIBLIOGRAFÍA

**ARIAS** Hoyos, Arnold y **CALVACHE** Narváez, María Julieta. Caracterización Ambiental del río Molino en la zona urbana del Municipio de Popayán 1999-2000. Popayán 2002. Trabajo de grado. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología.

**AGUA POTABLE**, normas técnicas de calidad: La revista del agua, Isaacs Ricardo, Bogotá.

**BENITEZ** López, Jimena y **MONDRAGON** Sandoval Gilda Yazmín. Determinación del grado de contaminación del río Pambío Municipio de Timbío, 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.

**CAMPO** Gómez, Tania Margoth y **VIDAL** Dorado Lina María. Caracterización fisicoquímica y de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Timbío en el Departamento del Cauca. Popayán 1998. Trabajo de grado. Fundación Universitaria de Popayán, Facultad de Ciencias Naturales, Programa de Ecología.

**CASTILLO** Rodríguez, Cesar y Col. Niveles de contaminación con base en las características fisicoquímicas y biológicas del río Molino. Popayán 1980. Trabajo de grado. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología.

**CASTILLO** Sánchez, Mauricio. Evaluación del efecto generado por la extracción de arena sobre la comunidad de macroinvertebrados bénticos y la calidad fisicoquímica del agua en el río Los Robles Departamento del Cauca. Popayán 1999. Trabajo de grado. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Instituto de estudios de postgrado. Maestría en recursos hidrobiológicos continentales.

**CERÓN** Victoria, Oliva y Col. Estudio ambiental de la parte media de la microcuenca del río Ejido. Popayán 1998. Fundación Universitaria de Popayán, facultad de Ciencias Naturales, Programa de Ecología. Corporación Autónoma Regional del Cauca C.R.C.

**COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA - INGEOMINAS.** Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán. Bogotá: Publicaciones especiales de Ingeominas, 1992.

**CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA.** Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán Documento técnico. Popayán: CRC, 2001.

**CHACÓN** Varona, Milta Lucy; **VELASCO** Noguera, Lucy Patricia. Diagnóstico preliminar de la cuenca del río Quilcacé en Departamento del Cauca. Popayán 1988. Trabajo de grado. Fundación Universitaria de Popayán, facultad de Ciencias Naturales, Programa de Ecología.

**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.

**INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI**. Diccionario geográfico de Colombia. Tomo 3. Bogotá: IGAC. 1996.

**LÓPEZ** García, Yolanda y **MONTEALEGRE** Torres, Jorge Luis. Contribución al conocimiento limnológico del río Tambito, reserva Tambito Municipio del Tambo Departamento del Cauca. Popayán 2000. Trabajo de grado. Fundación Universitaria de Popayán, facultad de Ciencias Naturales, Programa de Ecología.

**MACHADO** Cartagena, Tito. Mapa de calidad biológica de las corrientes de agua. En : Resúmenes XXXVI Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Cartagena (Colombia) (oct. 2001).

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

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

**METCALF** y **EDDY**. Ingeniería de aguas residuales. Vol. 1 Tratamiento vertido y reutilización. España: Editorial Mc Graw-Hill, 1995.

**MURGEL** Branco, Samuel. Limnología Sanitaria, Estudio de la polución de las aguas continentales. Monografía. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico. Washington, D.C. 1984.

**NAUNDORF** Sanz, Gerardo; **VÁSQUEZ** 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.

**ORTEGA** Imbachi, María Victoria. Estudio hidrobiológico del río Ovejas: caracterización fisicoquímica, hídrica, fauna béntica e íctica: interrelaciones. Popayán 1993. Trabajo de grado. Fundación Universitaria de Popayán, Facultad de Ciencias Naturales, Programa de Ecología.

**PÉREZ** R, Nancy Stella y **SOLARTE** E, Ana Isabel. Evaluación de la contaminación de la quebrada Abejonales generada por los vertimientos de las microempresas del almidón de yuca en la vereda Mandiva del Municipio de Santander de Quilichao. Popayán 2002. Trabajo de grado. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología.

**RAMÍREZ** G, Alberto y **VIÑA** V, Gerardo. Limnología Colombiana. Bogotá: Editorial Panamericana, 1998.

**REINOSO**, Gladys. Estudio de la fauna béntica del río Combeima. En : Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Vol. 11 – No. 1 (en. jun. 1999).

**ROLDÁN** Pérez, Gabriel. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín: Editorial Universidad de Antioquía, 1992.

\_\_\_\_\_ y Fondo FEN et al. Guía para la identificación de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía. Bogotá: Editorial Presencia, 1988.

**ROSEMBERG**, David and **RECH**, Vincent. Freshwater biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. New York: Chapman & Hall, 1993.

**TEBBUT**, T.H.Y. Fundamentos de Control de la Calidad del Agua. México: Editorial Limusa, 1995.

**VÁSQUEZ** Zapata, Guillermo León. Caracterización fisicoquímica de cuerpos de agua natural. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología. Instituto de Postgrado. Popayán, 2001.

**ZAMORA** González, Hilldier. Aspectos bioecológicos de las comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas en el Departamento del Cauca. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología. Popayán, 1994.

\_\_\_\_\_. Adaptación del Índice de BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. En: Revista Unicauca Ciencia. Vol. 4, (dic. 1999).

----- . Evaluación rápida de la calidad ambiental en ecosistemas lóticos mediante análisis de sus macroinvertebrados. En : Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Vol. 10.

\_\_\_\_\_. y **NAUNDORF** Sanz, Gerardo. Efecto excluyente de la contaminación doméstica sobre los macroinvertebrados acuáticos del río molino (Popayán) durante una década. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología. Popayán, 1990.

\_\_\_\_\_. y **SARRIA** H. Calidad Biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca, mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon . Weaver y BMWP. En: Revista Unicauca Ciencia. Vol. 6, (nov. 2001).