

# CALIDAD DEL AGUA DE LAS QUEBRADAS LA CRISTALINA Y LA RISARALDA, SAN LUIS, ANTIOQUIA

MARÍA CECILIA ARANGO<sup>1</sup>  
LUISA FERNANDA ÁLVAREZ<sup>2</sup>  
GLORIA ALEXANDRA ARANGO<sup>3</sup>  
ORLANDO ELÍ TORRES<sup>4</sup>  
ASMED DE JESÚS MONSALVE<sup>5</sup>

## RESUMEN

Las quebradas La Cristalina y La Risaralda son las fuentes que abastecen el acueducto del área urbana del municipio de San Luis, Antioquia. El propósito de este estudio fue elaborar un mapa de calidad de agua que sirva como base de comparación de la evolución de las quebradas y justifique la inversión de los recursos del Municipio en el mejoramiento prioritario de los tramos más críticos. Para establecer la calidad del agua se determinaron indicadores físicos, químicos y biológicos, entre ellos algunas características físicas de las quebradas como tipo de sustrato, cobertura de riberas y hábitats acuáticos, temperatura, conductividad, oxígeno, pH, coliformes y macroinvertebrados acuáticos. A partir de los datos colectados se calcularon los

---

<sup>1</sup> Bióloga, MSc. Biología. Docente de tiempo completo del programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Oriente, Facultad de Ingeniería. marango@uco.edu.co

<sup>2</sup> Bióloga, MSc en Ecoauditorías y Planificación Empresarial del Medio Ambiente.

Universidad Católica de Oriente, Dirección de Investigación y Desarrollo, Jefa Unidad de Gestión Ambiental. lalvarez@uco.edu.co

<sup>3</sup> Bióloga, MSc. Biología. Docente de tiempo completo del programa de Ingeniería ambiental, Universidad Católica de Oriente, Facultad de Ingeniería. marango@uco.edu.co

<sup>4</sup> Ingeniero Ambiental, Universidad Católica de Oriente. oretova04@hotmail.com

<sup>5</sup> Ingeniero Ambiental, Universidad Católica de Oriente. abejasmed@hotmail.com

índices BMWP/Col<sup>1</sup>, ASPT, ETP, índice de dípteros y de equidad. Con los resultados obtenidos del ASPT se construyó el mapa de calidad de agua para ambas quebradas. Las quebradas están bien oxigenadas debido a la turbulencia provocada por la conformación rocosa de su lecho, que a su vez permite la diversidad de macroinvertebrados acuáticos. Sin embargo, algunos tramos de estas corrientes están sometidos a contaminación de origen doméstico y agropecuario, lo cual limita sus condiciones de uso.

**PALABRAS CLAVE:** calidad del agua; mapa de calidad del agua; usos del agua.

## ABSTRACT

The streams La Cristalina and La Risaralda are the water sources for the urban area of the Municipality of San Luis, Antioquia. The intention of this study was to develop a map of water quality that serves as base as comparison of the evolution of the streams and allows the high-priority destination of the resources of the Municipality in the improvement of those more critical sections. In order to determine the quality of the water, parameters and some characteristics of the stream that can alter the quality of the water were measured, like substrate of the bed, cover of banks, aquatic habitats, temperature, conductivity, oxygen, pH, coliforms, and aquatic macroinvertebrates. The indices calculated with base in the collected data were: BMWP, ASPT, ETP, Index of Diptera, and equity Index. With the data of the ASPT the map of water quality of both streams was elaborated. The streams are well oxygenated and the rocky conformation of its bed allows the diversity of aquatic macroinvertebrates, nevertheless, in some sections, they are subjected to contamination of domestic and farming origin, which limits their conditions of use.

**KEY WORDS:** water quality; water quality map; uses of water.

## 1. INTRODUCCIÓN

La preservación de la integridad de las fuentes de agua, entendida como el mantenimiento de su estructura y función, implica conservar el balance natural de sus condiciones químicas, físicas y biológicas como un todo. Aunque determinar el estado ambiental de los ríos y quebradas es difícil, para protegerlos o restaurarlos es fundamental conocer su estado actual, particularmente cuando la condición de referencia de las corrientes se desconoce y éstas han estado sujetas por largo tiempo a perturbaciones antropogénicas.

En este estudio de las condiciones ambientales de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, los indicadores y límites de la calidad del agua se expresan en relación con el tipo de uso que se le da al agua. Se aplicaron los límites expresados en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura de Colombia,

el cual reglamenta, entre otros aspectos, los criterios de calidad para la destinación del recurso.

Para evaluar la calidad ambiental o calidad ecológica de los cuerpos de agua naturales se aplican otros criterios que definen un ecosistema sano como aquel que posee un alto nivel de biodiversidad, productividad y habitabilidad.

Los aspectos biológicos han adquirido una creciente importancia en el estudio de los sistemas acuáticos, debido a que las variables físicas y químicas no determinan con precisión la calidad de las aguas y sólo dan una idea específica sobre ella. Peces, algas, protozoos y otros grupos de organismos han sido recomendados para valorar la calidad del agua, pero los macroinvertebrados son el grupo más usado como indicador del estado ambiental de las quebradas y ríos por ser muy sensibles a los cambios de su ambiente (Hellawell, 1986 en Alba Tercedor,



1996) y más vulnerables a las perturbaciones antropogénicas por vivir en hábitats de pequeña escala (La Bonte *et al.* 2001).

En condiciones de perturbación mínima, la permanencia, composición y densidad de la biota de una corriente dependerán de los procesos naturales a los que su hábitat está sujeto. Sin embargo, en condiciones altamente perturbadas, tales como las que se originan a causa de acciones humanas, como la contaminación, darán lugar a la degradación del ecosistema la cual se reflejará en los cambios de la biota (Karr, 1999). Para ejemplificar este concepto, en la tabla 1 se puede observar la distribución de algunos grupos de macroinvertebrados en ciertas situaciones físicas y químicas.

Las comunidades de macroinvertebrados se utilizan como testigos biológicos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales, ya que reflejan las condiciones y los cambios ecológicos que ocurren en el sistema (Alba Tercedor, 1996). La integridad de las comunidades de invertebrados depende mucho de la integridad estructural de la corriente y de los procesos asociados con el hábitat físico. La degradación del hábitat impacta negativamente a estas comunidades, lo que a su turno da

lugar al decrecimiento del ciclo de nutrientes y de la producción de peces, como los salmónidos, que tienen a los macroinvertebrados como eslabón de su cadena trófica (Gallo, 2003).

Se considera organismo indicador aquella especie que, según sus atributos estructurales y de distribución, puede encontrarse asociada a aguas de buena o mala calidad. Actualmente, se utiliza más el concepto de comunidad indicadora mediante la aplicación de diferentes y múltiples métodos e índices, que son de obligado cumplimiento en diferentes países europeos y estados de los Estados Unidos. Al tener en cuenta toda una comunidad biótica se minimizan los errores y se aumenta la capacidad de detección de alteraciones en los ecosistemas acuáticos, como eutrofización, contaminación por agentes orgánicos y acidificación (Swedish Environmental Protection Agency, 2002).

Los métodos biológicos constituyen unos magníficos aliados para ahorrar y encauzar mejor los recursos disponibles en la vigilancia de la contaminación y en la gestión ambiental (Alba Tercedor, 1996). En una cuenca, después de clasificar y cuantificar los macroinvertebrados de una corriente, una persona encargada de la gestión ambiental en el municipio

**Tabla 1.** Ejemplo de invertebrados acuáticos indicadores de tipos de deterioros específicos

Impacto sobre el ecosistema	Efecto sobre la comunidad de macroinvertebrados.
Enriquecimiento de nutrientes	Incremento en la razón de gusanos acuáticos (Oligochaeta) sobre los insectos acuáticos, de dípteros sobre los insectos acuáticos y de efemerópteros herbívoros y dípteros.
Oxígeno disuelto bajo	Incremento en la razón de gusanos acuáticos (Oligochaeta) sobre los insectos acuáticos y de chironómidos sobre los insectos acuáticos.
Contaminación por metales pesados	Incremento en la razón de gusanos acuáticos (Oligochaeta) sobre los insectos acuáticos, de chironómidos sobre los insectos acuáticos, de depredadores sobre herbívoros y detritívoros y de la abundancia de hemípteros y coleópteros acuáticos.
Sedimentación	Decrecimiento de efemerópteros y chironómidos.
pH bajo	Disminución de caracoles, bivalvos, almejas, dáfnidos, efemerópteros y chironómidos.
Aumento de la temperatura	Reducción de la riqueza de la comunidad de especies.

\* Fuente: Adamus y Brandt, 1990

puede identificar en un mapa los puntos conflictivos o vulnerables a mayor contaminación y aquellos que, por el contrario, presenten una calidad muy buena, buena o aceptable. Hoy en día se está en condiciones de aprovechar mejor los recursos humanos y económicos disponibles, y, por lo general, los análisis físicos y químicos exhaustivos se realizan en los puntos más vulnerables a la contaminación. De tal modo, en vez de desperdiciar energías y dinero en analizar las aguas en las zonas sin problemas, resulta más productivo canalizar los recursos para conocer con exactitud quién contamina y cuándo y cuáles productos son los contaminantes que han indicado los macroinvertebrados en los análisis biológicos previos.

Los índices biológicos se utilizan en forma complementaria a los análisis físicos y químicos; aunque con su aplicación es imposible identificar los agentes contaminantes existentes, sus ventajas no se limitan al momento de toma de la muestra, puesto que permiten descubrir cambios producidos a lo largo del tiempo, ya que los organismos vivos presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales y tienen unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones, lo que permite tener una cierta visión histórica de los acontecimientos ocurridos en un período, en función de la dinámica de las comunidades biológicas presentes (Álvarez, 2006).

Entre los índices más comunes para determinar la calidad del agua están los de biodiversidad, que consideran el número de especies (morfoespecies) y el número de individuos por especie; otros índices comunes son los de medida de tolerancia/intolerancia, por ejemplo, el de puntuación BMWP (Biological Monitoring Working Party) y puntuación ASPT (Average Score per Taxon); estas medidas dependen de la asignación de valores de tolerancia/intolerancia de los taxa (familias) e incluyen la riqueza.

El índice BMWP se fundamenta en la presencia de familias sensibles o tolerantes a la contaminación del agua; para calcularlo se suman los puntos asigna-

dos a cada familia según su tolerancia; las puntuaciones altas significan alta sensibilidad a perturbaciones en la calidad del agua, y bajas, lo contrario. El índice de ASPT (puntuación promedio por taxa) es un índice valioso para la evaluación de la calidad del agua, especialmente cuando hay alta diversidad. Se calcula dividiendo la puntuación total BMWP por el número de los taxones calificados en la muestra, lo cual expresa el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas en un sitio determinado. Un valor bajo de ASPT asociado a una puntuación baja de BMWP indicará condiciones graves de contaminación. Para Colombia no se han establecido los límites del valor ASPT, y la biodiversidad para las diferentes calidades del agua y el BMWP todavía están en experimentación.

El propósito de este estudio fue elaborar un mapa de calidad de agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, fuentes abastecedoras del acueducto del área urbana del municipio de San Luis, Antioquia. Para determinar la calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, se tuvieron en cuenta criterios físicos, químicos y microbiológicos, comunidades de macroinvertebrados acuáticos y algunas características de la quebrada que pueden alterar la calidad del agua. El mapa elaborado con los valores de índice ASPT servirá como base de comparación de la evolución ambiental de las quebradas y permitirá a la Administración Municipal contar con criterios de decisión adecuados para la destinación de los recursos enfocados al mejoramiento ambiental de los tramos más críticos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Descripción del área de estudio

Las cuencas de las quebradas La Cristalina y La Risaralda están situadas en el municipio de San Luis, departamento de Antioquia, Colombia. La Cristalina nace a los 1750 msnm y La Risaralda



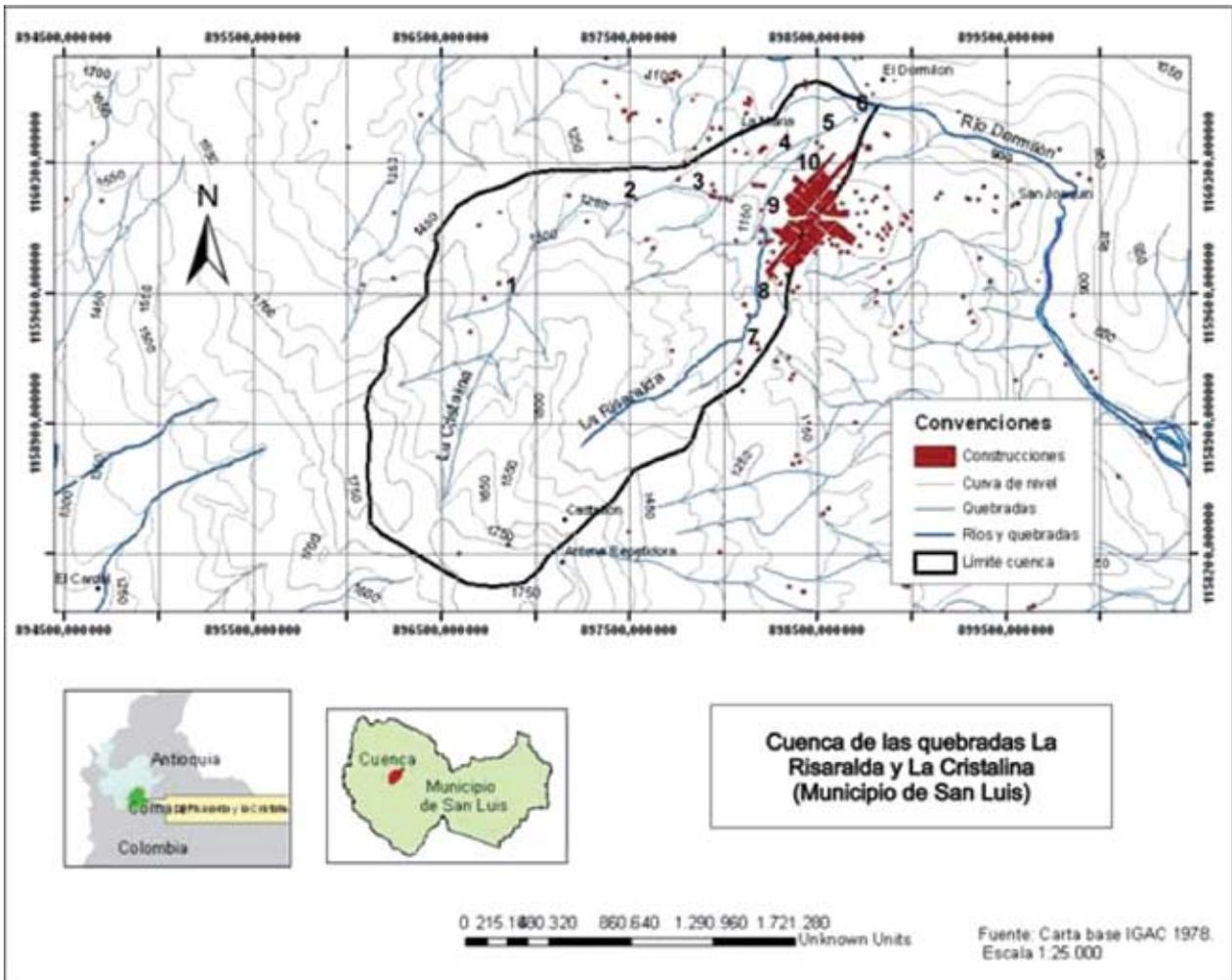
a 1375 msnm. Confluyen abajo de la zona urbana para luego desembocar en el río Dormilón. Estas dos quebradas son las que abastecen el acueducto urbano del municipio de San Luis (figura 1).

En la figura 1, puede observarse la ubicación de las estaciones y de las bocatomas del acueducto urbano. Las estaciones E1 a E6 se encuentran sobre la quebrada La Cristalina, las cuatro primeras arriba de la confluencia con la quebrada La Risaralda. Las

estaciones E7 a E10 están ubicadas sobre el cauce principal de La Risaralda.

## 2.2 Metodología

**Diseño del muestreo.** Se hicieron dos muestreos en el año 2006; uno correspondió al período seco (febrero) y otro al período lluvioso (abril), aunque ese año fue particularmente lluvioso.



**Figura 1.** Localización de las cuencas de las quebradas La Risaralda y La Cristalina, municipio de San Luis, Antioquia, Colombia

**Variables físicas de las quebradas.** En campo, se midieron en un tramo de 10 m de longitud de la quebrada el área transversal, el caudal y la velocidad de la corriente. Se realizaron observaciones como tipo de sustrato, número de hábitats, cobertura y uso de la ribera. Los datos fueron registrados en tablas y gráficos, con el fin de establecer las diferencias a lo largo de las quebradas.

**Indicadores fisicoquímicos y microbiológicos.** Fueron medidos algunos indicadores fisicoquímicos como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno. Se midió el número más probable (NMP) de coliformes totales y fecales por el método de tubos múltiples y fluorescencia. Los valores de estos indicadores se analizaron desde el punto de vista de las limitaciones que pueden presentarse para el uso del agua de las quebradas, según el Decreto 1594 de 1984.

**Macroinvertebrados acuáticos.** Para las muestras de macroinvertebrados, en cada estación se tomó un tramo de 30 m de longitud de la quebrada, en este transecto fueron identificados los diferentes hábitats presentes y en cada uno de ellos se tomaron como mínimo tres muestras. Para cada estación la unidad de esfuerzo fue de 60 minutos. Se hizo captura manual, con red pantalla y con red D-net. Las muestras extraídas se colocaron en una bandeja blanca y de allí, con la ayuda de pinzas y lupa, se pasaron los organismos a frascos con alcohol al 70%, para su posterior identificación en el laboratorio.

Los ejemplares colectados se identificaron en el laboratorio con la ayuda de estereoscopios y de claves taxonómicas. Los individuos fueron depositados en la colección de macroinvertebrados del Laboratorio de Limnología de la Universidad Católica de Oriente. Se registraron los datos de la

familia, el género, el número de individuos colectados y la puntuación del grado de tolerancia a la contaminación.

**Análisis de la información.** Para determinar la calidad del agua se utilizaron el índice de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon, 1949), cuyos valores esperados van entre 0 y 5, el índice BMWP modificado para Colombia y el índice ASPT.

El índice ETP se calculó dividiendo el número de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera por el número total de individuos colectados; los valores más altos significan aguas más oxigenadas y limpias. El índice de dípteros se calculó dividiendo el número de individuos del orden Diptera por el número total de individuos colectados; los valores más altos determinan el enriquecimiento del agua con materia orgánica.

Para el cálculo del índice BMWP se hizo la suma de las puntuaciones ecológicas de las familias según su grado de tolerancia a la eutrofización (tabla 2). El ASPT se calculó dividiendo el BMWP por el número de familias. Los valores ASPT se encuentran en un rango entre 0 y 10 y expresan el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas. Los valores del BMWP y el ASPT se correlacionan con cinco grados de contaminación y con cinco colores que los representan en la cartografía de calidad de las aguas (Álvarez *et al.*, 2006) (tabla 3).

Las diferencias en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados se evaluaron mediante la aplicación del índice de similitud de Bray-Curtis, el índice ETP, el índice de Diptera y ASPT, utilizando los programas Divers y Biodiversity Pro. El mapa de calidad de aguas se construyó con los valores de ASPT de acuerdo con la clasificación de las aguas y el estado ecológico presentados en la tabla 3.

**Tabla 2.** Puntos asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col<sup>1</sup> (modificado de Roldán, 2003 por Álvarez, 2006)

Familias				Puntos
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae,	Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae	Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae	Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Coryphoridae, Ephemeraidae, Euthyplociidae,	Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae	Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae	Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae,	Hydroptilidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Lymnaeidae, Naucoridae	Palaemonidae, Planorbidae (cuando es dominante Biomphalaria)	Pseudothelphusidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae,	Dicteriidae, Dixidae, Glossosomatidae, Hyalellidae	Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohipidae, Lestidae	Pyralidae, Simuliidae, Veliidae	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae,	Dryopidae, Dugesidae, Elmidae, Hyriidae	Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae	Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae	6
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae,	Glossiphoniidae, Gyrinidae, Libellulidae	Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae	Tabanidae, Thiaridae	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae,	Haliplidae, Hydriidae, Muscidae	Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae	Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae,	Hydrophilidae (larvas)	Physidae, Stratiomyidae	Tipulidae	3
Chironomidae (cuando no es la familia dominante, si domina es 1)		Culicidae, Psychodidae	Syrphidae	2
Tubificidae				1

**Tabla 3.** Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP Col y ASPT (modificado de Roldán 2003, en Álvarez 2006)

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Valor del ASPT	Significado	Color
I	Buena	> 150	>9-10	Aguas muy limpias	Azul
		101-120	>8-9	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	>6,5-8	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	>4,5-6,5	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	>3- 4,5	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	1-3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	Rojo

Se analizaron los resultados físicos, químicos, biológicos y las características del cauce en relación con los resultados del ASPT para explicar el mapa de calidad del agua.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Descripción física de las quebradas

**Perfil de las quebradas.** Los perfiles de las quebradas pueden ser observados en la figura 2. En general, las dos quebradas presentaron pendientes medias a altas (entre 50-80 %); en La Risaralda el tramo más pendiente fue el de la estación E10, y en La Cristalina, el tramo cerca del nacimiento y el de la estación E6, antes de desembocar en el río Dormilón. Esta característica hace que estas aguas sean rápidas y que las quebradas tengan un cauce

lavado sin mucha acumulación de material finamente particulado.

**Caudal y velocidad de la corriente.** En la tabla 4 se pueden observar los caudales promedio encontrados en ambas quebradas, medidos en m<sup>3</sup>/s. En La Cristalina se hace evidente la disminución del caudal y del área transversal del cauce en la estación E2, como efecto de la captación del agua para el acueducto municipal de San Luis, cuya presa está situada aguas arriba del sitio donde se midieron estos valores. Igualmente, en la estación E8 de La Risaralda, también se registran bajos caudales por la extracción de agua para el mismo acueducto en el tramo inmediatamente superior donde se sitúa la otra bocatoma. En las estaciones que se encuentran más abajo de E2 y E8, los caudales vuelven a aumentar, aunque en algunos de estos tramos se extrae agua para diferentes usos. Las estaciones E5 y E6 tienen mayores caudales porque arriba de la estación E5 confluye la quebrada La Risaralda.

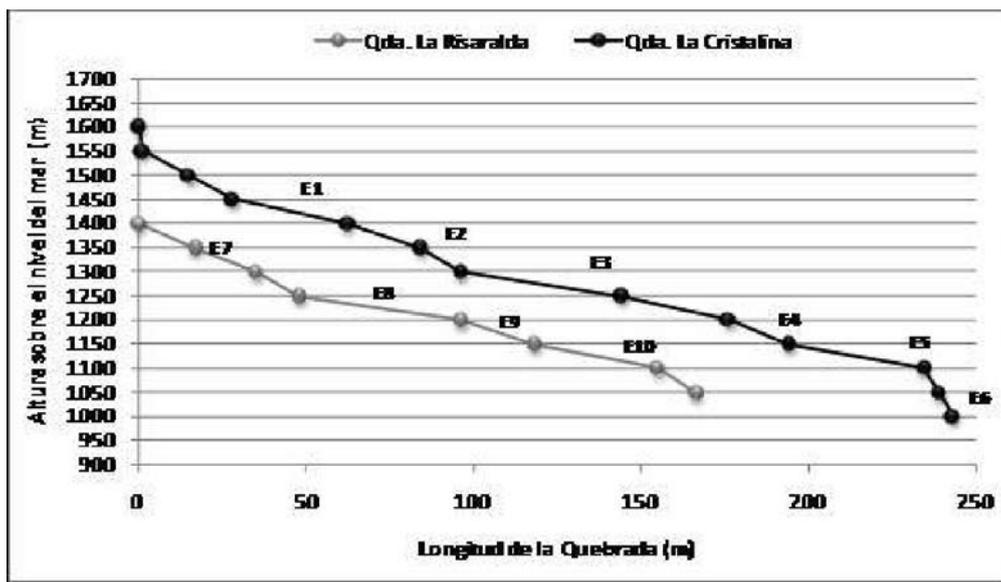


Figura 2. Perfiles altitudinales de las quebradas La Risaralda y La Cristalina



**Tabla 4.** Características físicas de las quebradas La Cristalina y La Risaralda durante el primer muestreo período seco

E s t a c i ó n	Valores de la corriente			Hábitats					Sustrato del lecho						
	Área transversal promedio (m <sup>2</sup> )	Velocidad promedio de la corriente (m/s)	Caudal promedio (m <sup>3</sup> /s)	Cascadas	Rápidos	Rizos (caballitos)	Corriente	Charca, remanso, poza	Arcilla, lodo, cieno	Arena	Grava	Gujarros	Piedra	Roca	Lecho de roca
<i>Quebrada La Cristalina</i>															
E1	1,36	0,31	0,42		■	■		■					■	■	■
E2	0,77	0,06	0,042	■	■	■		■					■	■	■
E3	1,38	0,46	0,63		■	■	■	■			■	■	■	■	
E4	1,25	0,60	0,75		■	■	■	■			■	■	■	■	
E5	2,14	0,44	0,93	■	■	■	■	■			■	■	■	■	
E6	2,15	0,44	0,94		■	■	■	■			■	■	■	■	
<i>Quebrada La Risaralda</i>															
E7	0,78	0,50	0,42	■	■	■	■	■					■	■	■
E8	0,9	0,40	0,36	■	■	■	■	■			■	■	■	■	■
E9	1,02	0,34	0,35		■	■	■	■			■	■	■	■	
E10	0,8	0,43	0,43		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

**Características del lecho y las orillas de las quebradas.** El lecho y los márgenes de las quebradas son rocosos. Las estaciones más altas, las que están por encima de las bocatomas, E1, E2 y E7, están conformadas por lecho de rocas de gran tamaño y piedras. El sustrato de las demás estaciones lo constituyen rocas, piedras, guijarros y grava, con excepción de las estaciones E8, que también tiene lecho de roca, y E10, que además acumula arena y lodo. En todo el cauce el agua fluye entre las rocas con paso muy restringido para los peces, excepto en la estación E3, en la cual el paso es moderadamente restringido, y en la E6, que es parcialmente restringido. Estas características del lecho proporcionan a los macroinvertebrados mucha disponibilidad de hábitat y la oxigenación del agua suficiente para mineralizar los aportes de materia orgánica mediante oxidación.

Como puede verse en la figura 3, en cada una de las estaciones los hábitats son numerosos; predominan corrientes, charcas, rizos, rápidos y cascadas; las estaciones tienen varios tipos de hábitats (tabla 4).

**Vegetación de ribera.** Las riberas de ambas corrientes ubicadas aguas arriba de las bocatomas tienen mejor cobertura arbórea con respecto a las demás estaciones. La margen derecha de La Cristalina presenta grupos ocasionales de árboles; la margen izquierda, más desprotegida, presenta árboles espaciados regularmente, excepto en el tramo correspondiente a la estación E4. En La Risaralda, las estaciones E7 y E8 presentan cobertura de árboles ocasionales, mientras que en E9 y E10 se encontraron en ambas márgenes árboles aislados y dispersos, siendo este el tramo más desprotegido de ambas quebradas.



**Figura 3.** Aspecto del lecho rocoso y el predominio de los rápidos en las estaciones E1 y E6

### 3.2 Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de las quebradas

Como puede observarse en la tabla 5, estas quebradas están afectadas por diferentes fuentes de contaminación, especialmente escorrentías de cultivos y vertimientos de aguas residuales domésticas y pecuarias. La Risaralda, abajo de la estación E7, tiene más fuentes de contaminación que La Cristalina. Las estaciones más críticas son la E3 de La Cristalina y E9 y E10 en La Risaralda, las más cercanas a la zona urbana del municipio de San Luis. La que muestra mayores fuentes de contaminación es la E9. En términos generales, se encontró que las quebradas están afectadas por escorrentías provenientes de los cultivos y vertimientos de aguas residuales domésticas y pecuarias.

En la tabla 6 se encuentran los registros de los análisis fisicoquímicos, medidos en el período de lluvias. En ella se observa que la temperatura del agua osciló entre 19,5 y 22,4 °C, valores comunes para lugares ubicados entre 1200 y 1600 msnm, de acuerdo con la cartografía de la Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare, Cornare. La temperatura del agua en todas las estaciones de La Risaralda es de 21 °C; en La Cristalina aumenta de E1 a E4 en 3 grados, pero cuando recibe las aguas de La Risaralda, desciende en las últimas estaciones a 21 °C. También se observa que los valores de pH en todas las estaciones son cercanos al neutro (7,07-6,83 unidades), que son favorables para la biota acuática y no son limitantes para ningún uso. De acuerdo con la conductividad, estas aguas son blandas y no presentan restricciones de uso, porque tienen baja conductividad y baja salinidad.

**Tabla 5.** Aspectos que afectan la calidad del agua, observados en ambos períodos de muestreo

Estación	Olores	Escorrentías de cultivos y pastos	Paso de animales y personas	Diques en la orilla	Basuras en el cauce	Captación de agua para uso doméstico, agrícola o pecuario	Captación de agua acueducto municipal	Presencia de perifiton	Mangueras de toma de agua dentro del cauce	Presa artificial o natural	Vertido de aguas residuales de explotaciones pecuarias	Vertido directo de aguas residuales domésticas (puntual y difuso)	Puente o carretera	Vertido de aguas residuales por alcantarilla	Turbidez y material suspendido en el agua (visual)	Presencia de espumas (visual)	Hojas y ramas retenidas entre las piedras	Aceite en agua y sedimento, lavadero de carros	Barras de arena y fango con hierbas
<b>Quebrada La Cristalina</b>																			
E1																			
E2																			
E3																			
E4																			
E5																			
E6																			
<b>Quebrada La Risaralda</b>																			
E7																			
E8																			
E9																			
E10																			

**Tabla 6.** Indicadores fisicoquímicos y microbiológicos en La Cristalina y La Risaralda

Est.	pH (Unidades)	Temperatura agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Saturación de O <sub>2</sub> (%)	Conductividad (μS/cm)	Coliformes totales (NMP)	<i>Escherichia coli</i> (NMP)
<b>Quebrada La Cristalina</b>							
E1	7,30	19,50	5,71	67,93	19,10	1100	1100
E2	7,07	20,50	5,40	70,40	20,26	460	75
E3	7,27	21,80	5,20	68,00	20,90	1100	1100
E4	7,09	22,40	5,38	67,93	24,90	4.600.000	2.100.000
E5	7,30	21,70	4,19	67,10	22,10	430.000	430 000
E6	7,30	21,70	4,19	67,10	22,10	430.000	210.000
<b>Quebrada La Risaralda</b>							
E7	6,96	21,00	5,45	64,60	13,10	240	150
E8	6,83	21,00	5,60	69,40	13,90	93.000	4
E9	7,03	21,10	5,20	68,00	21,40	11.000.000	11.000.000
E10	6,90	21,10	9,78	130,10	23,20	2.400.000	430.000

Debido a la pendiente de ambas quebradas y a su lecho rocoso que genera alta turbulencia, el agua es bien oxigenada. La tabla 6 muestra que la concentración de oxígeno disuelto fue superior a 4 mg/L, valor que se considera límite para aguas naturales (Brasil, Conama, 1986; Ramírez y Viña, 1998). La saturación de oxígeno estuvo entre 60 y 70 % en todas las estaciones, excepto en E10 que, en relación con las otras estaciones, tiene además del lecho rocoso altas pendientes, factores que pueden ser determinantes para el aumento de este indicador (figura 4). Estas saturaciones de oxígeno no son restrictivas para la mayoría de las formas de vida acuática. Sin embargo, de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, sólo en E2 y en E10 este indicador no presenta restricciones para el uso recreativo directo primario y secundario.

Todas las estaciones presentan contaminación fecal. De acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, según el NMP de coliformes totales y fecales por 100 mL encontrados, las estaciones E4, E5, E6, E8, E9 y E10 tienen restricciones para ser usadas como agua para potabilizar, aun con tratamiento convencional, para recreación de contacto primario

y secundario y para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y de hortalizas de tallo corto. Las estaciones E1 y E3 tienen restricciones para ser usadas en tratamiento de potabilización con sólo desinfección y para uso recreativo de contacto directo. Las estaciones E2 y E7, que se sitúan arriba de las bocatomas del acueducto municipal, no tienen ninguna restricción de uso.

En la tabla 7 se presentan las abundancias de macroinvertebrados encontradas en ambos muestreos. Los resultados obtenidos para los índices de diversidad, BMWP/Col<sup>1</sup>, ASTP, índice de Diptera y ETP se registran en la tabla 8 y en la figura 4. El índice BMWP/Col<sup>1</sup> no muestra un patrón definido y no concuerda con los valores de colimetría, debido a que estas son corrientes muy bien oxigenadas y con muchos hábitats, entre los que predominan rápidos y rizos (caballitos) que influyen en los resultados. En contraste, el ASPT resultó ser mejor índice de medición, ya que calcula el promedio de la puntuación de tolerancia. Este índice muestra que la calidad del agua va disminuyendo desde el nacimiento hasta la desembocadura de estas quebradas en el río Dormilón.

**Tabla 7.** Macroinvertebrados encontrados en las quebradas La Cristalina y La Risaralda en los dos muestreos correspondientes a los meses de febrero y abril

Orden	Familia	N <sup>o</sup> de M <sup>ue</sup> str <sup>os</sup>	Género	Quebrada La Cristalina								Quebrada La Risaralda											
				E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10	
				Feb	Abr	Feb	Abr	Feb	Abr	Feb	Abr	Feb	Abr	Feb	Abr	Feb	Abr	Feb	Abr	Feb	Abr	Feb	Abr
Tricladida	Dugesidae	6	<i>Dugesia</i>	1	0	0	1	11	7	8	3	17	2	1	1	3	15	3					
Haptotaxida	s.i.	3	s.i.					1															
Basommatophora	Physidae	9	<i>Physa</i>							4	2	8	1					3			49	3	
Mesogastropoda	Ampullariidae	5	<i>Pomacea</i>								1										1		
			<i>Baetodes</i>	10	53	23	15	1	14	61	147	66	334	59	187	7	3	7	53	54	19	44	
			<i>Camelobaetidius</i>										1										
	Baetidae	7	<i>Mayobaetis</i>	3			6		4		1		11		3	2		37		1		3	
			<i>Moribaetis</i>										27		24			24		4		8	
			s.i.	4	13	3	8	12	8	13	44	13		7	1	5	10	1	1	13	19	5	
	Oligoneuridae	9	<i>Lachlania</i>	5			1																
			s.i.				1																
Ephemeroptera	Leptohyphidae	9	<i>Leptohyphes</i>	1	3			4	9	10	10	10	10	34	8			1	1	4			
			<i>Tricorythodes</i>	1	7	1	4	3	2	1	7	7	3	1	5	2	1	1	5	2	4		
			<i>Atopophlebia</i>																				
	Leptophlebiidae	7	<i>Thraulodes</i>	1	2	1	3	1	3	2	4	4		4		9	12	4	2	2	1	2	
			<i>Traverella</i>												3					6			
			s.i.													1							
	Euthyplocidae	9	<i>Euthyplocia</i>				1																
			<i>Brechmorhoga</i>					1		4	1		4	1	1		2		2	2	1	1	
	Libellulidae	6	s.i.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2		2			
	Gomphidae	9	<i>Progomphus</i>	4																			
Odonata	Polythoridae	10	<i>Polythore</i>	1												1							
	Calopterygidae	7	<i>Hetaerina</i>											1									
	Coenagrionidae	7	<i>Argia</i>					1		3				1		1					1		
	Megapodagrionidae	6	<i>Megapodagrion</i>															1					
Plecoptera	Perlidae	10	<i>Anacroneuria</i>	1	1	1	1	5	4	1		4	1	1	3					1			
Megaloptera	Corydalidae	6	<i>Corydalis</i>				1	2															





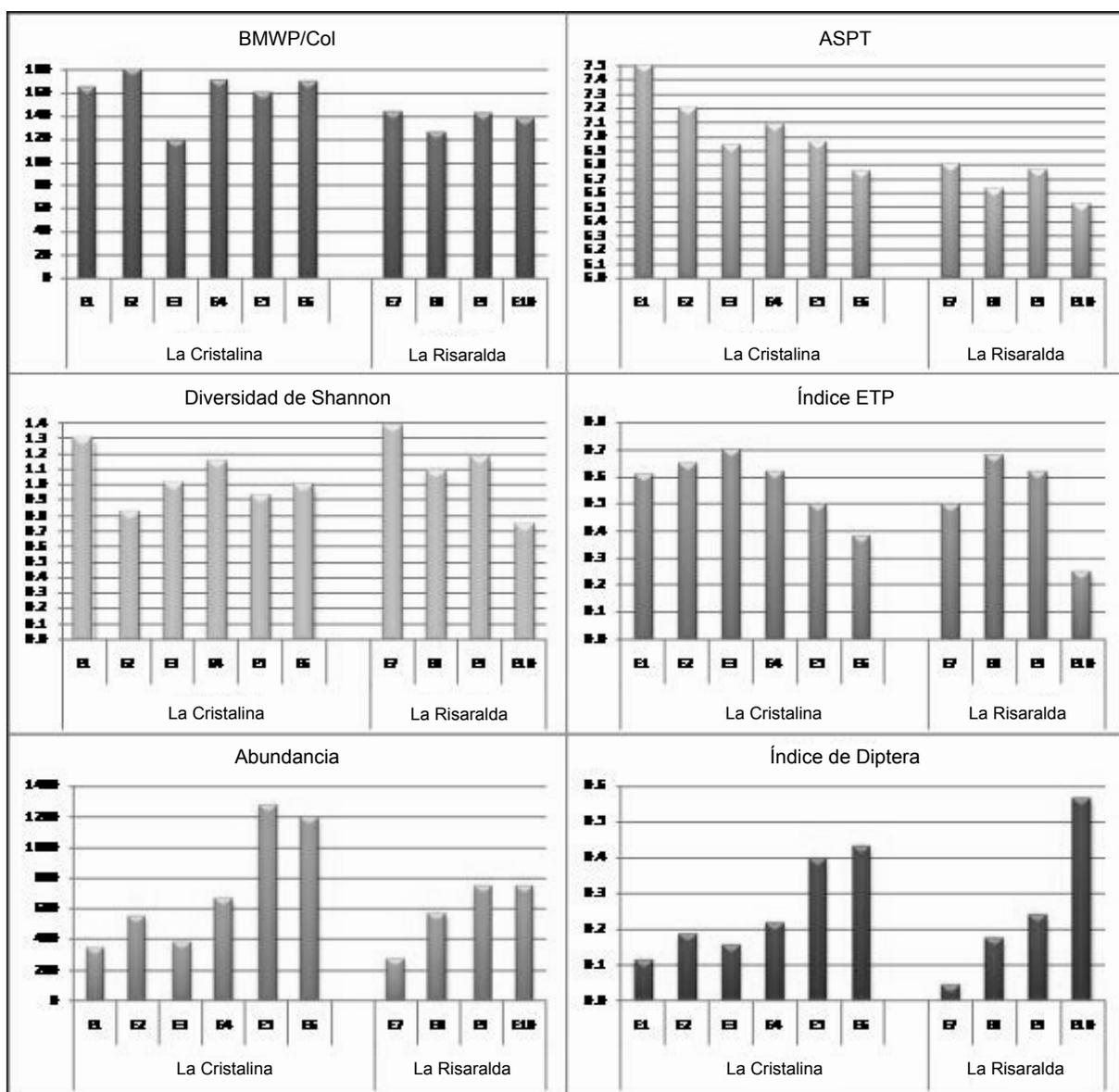






Como puede verse en la figura 4, se presentaron diversidades bajas, menores de 1,0, en las estaciones más contaminadas que son E5, E6 y E10, y también en E2, donde se embalsa la quebrada y se capta agua, hecho que se refleja en la menor diversidad. E10 se caracterizó por una alta abundancia de *Simulium* y de *Physa*, lo que explica el menor valor de la diversidad (tabla 8). Los mayores valores de diversidad fueron hallados en las estaciones E7 y

E1, que corresponden a las partes más altas de las quebradas y, por tanto, menos intervenidas. Las demás estaciones presentaron diversidades medias. Se observa que la abundancia tiende a aumentar hacia las estaciones más bajas, las cuales también muestran los índices de Diptera más altos que indican mayor contenido de materia orgánica. Por el contrario, los valores del índice ETP, que indica aguas limpias, son menores en estas estaciones más bajas.

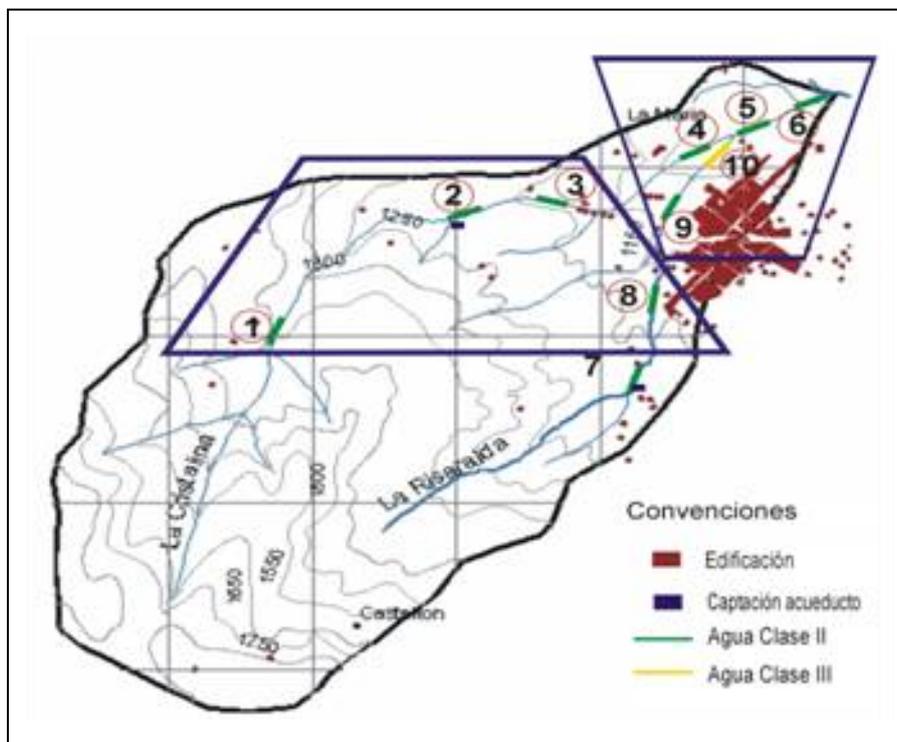


**Figura 4.** Comparación de los índices BMWP Colombia, ASPT, Diversidad de Shannon, índice ETP, abundancia e índice de Diptera en las estaciones de las quebradas La Risaralda y La Cristalina

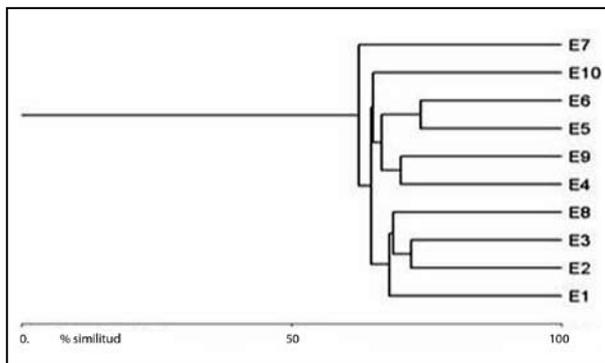
De acuerdo con el ASPT todas las estaciones tienen agua Clase II, aceptable (ligeramente contaminada); sin embargo, E10 presentó aguas Clase III, dudosa (aguas moderadamente contaminadas). Con los valores del ASPT se construyó el mapa de calidad de agua de las quebradas, esquematizado en la figura 5. Cuando se observa este mapa y se relaciona con las fuentes de contaminación del agua, se nota que la estación E10 es la que tiene aguas de más baja calidad, porque recibe las aguas de E9, que es la estación más expuesta a las fuentes de contaminación (tabla 5).

Con el fin de observar la tendencia de la similitud en la distribución de las estaciones, se utilizó el índice de similitud de Bray-Curtis, para lo cual fueron usadas las abundancias para cada uno de los taxa de macroinvertebrados, los coliformes

fecales y los índices de diversidad, ASPT, equidad, Diptera y ETP. Como puede verse en la figura 6, las estaciones de muestreo forman un gran grupo en el cual se diferencian dos subdivisiones importantes de las cuales se separa E7. La primera subdivisión estuvo formada por las estaciones menos intervenidas, situadas en la parte alta de la cuenca (E1, E2, E3 y E8). La otra subdivisión comprendió las estaciones ubicadas en la parte media y baja de la cuenca (E4, E5, E6 y E9); dentro de esta subdivisión las que presentaron la mayor similitud fueron E4 y E9, mientras que la estación E10, la que recibe la mayor cantidad de descargas de aguas residuales en relación con las demás estaciones, se separó del resto. Estos resultados son coherentes con la distribución obtenida en el mapa de calidad de agua (figura 5).



**Figura 5.** Mapa de calidad del agua para la zona de estudio usando el índice ASPT. Los polígonos engloban estaciones con calidad de agua similar según el análisis de similitud de Bray-Curtis



**Figura 6.** Similitud entre las estaciones de las quebradas La Cristalina (E1 a E6) y las de su afluente La Risaralda

## 4. DISCUSIÓN

En las quebradas La Cristalina y La Risaralda, la pendiente del canal hace que estas aguas sean rápidas y que el lecho permanezca lavado sin mucha acumulación de material finamente particulado. El sustrato del lecho está conformado por rocas de gran tamaño que influyen en la turbulencia del agua y, por consiguiente, en el incremento de la concentración de oxígeno, factor importante para la recuperación de la calidad del agua, porque se incrementa la capacidad oxidante de las quebradas para mineralizar los aportes de materia orgánica que llegan a su cauce.

En el caso de las quebradas analizadas en el estudio, las características del lecho fueron determinantes en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. El sustrato del lecho conformado por rocas de diferente tamaño, más que todo medianas y grandes, posibilita el movimiento del agua entre canales estrechos y constituye una base firme para la fijación o adherencia de organismos de vida sedentaria. La combinación de estas características con las altas pendientes propicia una alta diversidad de hábitats para los macroinvertebrados (rizos o caballitos, rápidos, corrientes, cascadas y pozas), factores que inciden en la alta biodiversidad de especies registrada.

En La Cristalina y La Risaralda, el caudal y el área transversal tienen tendencia a aumentar hacia su desembocadura en el río Dormilón. Sin embargo, las extracciones de agua, especialmente las que se hacen para surtir el acueducto municipal, se reflejan en la misma estación o en la estación inmediata aguas abajo, pero la disminución del caudal no llega al punto de afectar la vida de los macroinvertebrados. Además, a pesar de que las quebradas se crecen con las lluvias fuertes y arrastran materiales y macroinvertebrados, el número de taxa y de individuos encontrados en la mayoría de las estaciones durante los dos momentos de muestreo no presentaron variaciones espaciales y temporales importantes, lo cual puede estar relacionado con la homogeneidad del sustrato en la mayoría de las estaciones.

En las estaciones que se sitúan por debajo de las bocatomas del acueducto municipal, ambas quebradas están afectadas principalmente por la contaminación con escorrentías de cultivos, residuos sólidos y vertimientos de aguas residuales domésticas y pecuarias. La quebrada La Risaralda, aguas abajo de la estación E7, presenta un mayor número de fuentes de contaminación por estar ubicada cerca al área urbana del municipio de San Luis. Las estaciones más críticas fueron E3 en La Cristalina y E9 y E10 en La Risaralda; la estación más expuesta a fuentes de contaminación fue E9.

En ambas quebradas, para la temperatura del agua (19,5-22,4 °C), el pH (7,07-6,83 unidades) y la conductividad (13,1-24,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aguas blandas) se obtuvieron valores dentro de los rangos normales, los cuales no son limitantes para ningún uso y desde el punto de vista limnológico no presentan rangos desfavorables para el establecimiento de la biota acuática.

Las quebradas están bien oxigenadas, en todas las estaciones se superó el límite de 4 mg/L para aguas naturales. Las saturaciones de oxígeno no son restrictivas para la mayoría de las formas de vida acuática, porque están entre 60 % y 70 % en todas las estaciones, excepto la E10 (130 %  $\text{O}_2$ ), que presenta sobresaturación debido a la alta turbulencia.

En cuanto a la calidad sanitaria del agua (Decreto 1594 de 1984), las estaciones donde se la capta para el acueducto municipal de San Luis, E2 y E7, la tienen de buena calidad, pero en las demás estaciones excede los límites de calidad apropiados para producción de agua potable, recreación, uso pecuario y uso agrícola, si no reciben tratamiento intensivo previo. La restricción para potabilización del agua en E1 y E3 puede ser superada con tratamiento convencional.

Entre los índices calculados utilizando la comunidad de macroinvertebrados, los valores del índice de diversidad en la mayoría de las estaciones no presentaron diferencias importantes, fluctuaron en un rango entre 1,01 y 1,38, con dos excepciones: E2, donde se presentó la menor diversidad por estar en el sitio de donde se toma el agua para el acueducto municipal, se caracterizó por tener un sustrato fangoso poco adecuado para el establecimiento de macroinvertebrados acuáticos y el tramo entre E10 y E6, que es el más contaminado por descargas de aguas residuales provenientes del área urbana del municipio.

El BMWP no mostró un patrón definido que pudiera indicar con claridad la calidad del agua, así que se optó por el ASPT, que indicó mejor tendencia para definir la calidad del agua por ser la puntuación promedio por taxón e incluir en su cálculo la riqueza de familias; de acuerdo con este índice, todas las estaciones tienen agua Clase II, aceptable (aguas ligeramente contaminadas), excepto la E10 cuyas aguas son Clase III, dudosa (aguas moderadamente contaminadas), resultado que es coherente, porque esta estación recibe las aguas de E9 que es la estación más expuesta a la contaminación por muchas fuentes, ante todo por aguas residuales domésticas. Con los resultados del ASPT se construyó el mapa de calidad de agua de las quebradas (figura 5), que era uno de los objetivos del estudio.

El índice de Diptera, cuyos mayores valores indican contaminación del agua por materia orgánica, mostró un patrón de incremento hacia las partes

bajas de ambas quebradas, en concordancia con la mayor abundancia de individuos de macroinvertebrados y el mayor NMP de coliformes. Coincidiendo con lo anterior, el índice ETP mostró sus valores más bajos en las estaciones que tienen más influencia de aguas residuales, por estar en la parte inferior de la cuenca.

Para determinar si había un patrón de similitud entre las estaciones muestreadas en relación con la calidad del agua, se utilizó el índice de Bray-Curtis, que se calculó con los valores de diversidad, ASPT, equidad, índice de Diptera, índice ETP, coliformes fecales y abundancia de macroinvertebrados. Este índice mostró que hay una alta similitud entre las estaciones de muestreo, sin embargo, E7, que es la estación con mejor calidad de agua, se diferencia de todas las demás, que a su vez forman dos grupos: las de la cuenca alta E1, E2, E3 y E8 que tienen mejor calidad del agua en comparación con las del otro bloque formado por las estaciones de la cuenca media y baja, las que reciben mayor contaminación, E4, E5, E6, E9 y E10 (figura 5).

## 5. CONCLUSIÓN

Como recomendación general se sugiere realizar control y vigilancia constantes de las fuentes de contaminación por materias fecales y materia orgánica en ambas quebradas. A pesar de que los tramos de las quebradas aguas arriba de las bocatomas se encuentran en mejor estado, la presencia de contaminación fecal es una alarma para promover el seguimiento permanente, con el fin de preservar estas fuentes de abastecimiento de agua. Para lograrlo se puede tener como soporte la descripción de los sitios de muestreo y la de las fuentes de contaminación que se encuentran en el diagnóstico de este estudio.

Los tramos más críticos para la calidad del agua en estas quebradas son los que se sitúan entre E8 y E10, que corresponde al tramo de La Risaralda adyacente al área urbana del municipio donde debe



hacerse un trabajo de protección del curso de agua para preservarlo de los vertidos y escorrentías de aguas residuales, ya que la población utiliza el agua de la quebrada para usos agropecuarios, recreativos y domésticos, lo cual es peligroso por la alta contaminación fecal de las aguas y por ello puede transmitir parasitosis y enfermedades digestivas y de la piel.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sistema de Investigación y Desarrollo de la Universidad Católica de Oriente por la financiación que hizo posible este estudio, a las estudiantes de San Luis y a los amigos por colaborar en las mediciones físicas y en la recolección de macroinvertebrados, a Cornare y particularmente a la doctora María Altagracia Berrío, por la ayuda con la cartografía.

## REFERENCIAS

- ADAMUS P. R. and BRANDT K. (1990). Freshwater water quality - Example invertebrate indicators of specific impairment types. Water sheds: water quality and land treatment educational component. North Carolina College, Water Quality Information System consultado en: <http://www.water.ncsu.edu/watershedss/info/biomon.html> y <http://www.fsas.upm.edu.my/~arahim/freshwat/watquality.html> - 27k
- ALBA TERCEDOR, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. Departamento de Biología Animal y Ecología, Universidad de Granada. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almería, 1996, Vol. II:203-213. ISBN: 84-7840-262-4. Consultado el 7 de julio de 2003 en: <http://www.famu.edu/acad/research/mayfly/publications/pubjat1996p203.pdf>
- ÁLVAREZ, L. F. (2006). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto Alexander von Humboldt, en proceso de publicación.
- BRASIL. CONSEJO NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE (CONAMA). (1986). Resolución N° 20, del 18 de junio de 1986.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1984. Decreto 1594 del 26 de junio de 1984.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 865 de 2004, Diario Oficial No. 45.630, 4 de agosto de 2004. Homepage: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, consultada el 12 de junio de 2007, en <https://www.superservicios.gov.co/basedoc/resoluciones.shtml?x=56735>
- GALLO, E. L. 2003. The importance of stream invertebrates to riverine ecosystem function. Ecology & Geomorphology of Streams: The Scott River Study. UC Davis, Department of Geology. En [http://watershed.ucdavis.edu/scott\\_river/history.html](http://watershed.ucdavis.edu/scott_river/history.html) consultado el 15 de junio de 2004.
- KARR, J. R. (1999). Defining and measuring river health. *Freshwater Biology*. 41:221-234.
- LABONTE, J. R., SCOTT, D. W., McIVER, J. D. and HAYES, J. L. (2001). Threatened, endangered and sensitive insects in Eastern Oregon and Washington forests and adjacent lands. *Northwest Science*. 75:185-198.
- ROLDÁN, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col, Ed. Universidad de Antioquia, Medellín. 182 p.
- KAMRÍREZ, ALBERTO y VIÑA, GERARDO. (1998). Limnología colombiana. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano/ BP Exploration Company (Colombia), Panamericana. Bogotá.
- SHANNON, C.E. and WEAVER, W. (1949). The mathematical theory of communication, The University of Illinois Press, Urbana, IL.
- SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2002). Bottom fauna. Consultado el 6 julio de 2003 en: <http://www.internat.naturvardsverket.se/indice.php3?main=/documents/legal/assess/assedoc/lakedoc/bottfna.htm>