

**VALORACION TRANSVERSAL DE LA CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUIMICA  
HIDRICA EN LA PARTE BAJA DEL RIO SAN JORGE Y ALGUNOS DE SUS  
AFLUENTES, EN EL MUNICIPIO DE BOLIVAR DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**IVAN FELIPE VIDAL MARTINEZ  
JOSE DAVID VILLA FIGUEROA**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2013**

**VALORACION TRANSVERSAL DE LA CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUIMICA  
HIDRICA EN LA PARTE BAJA DEL RIO SAN JORGE Y ALGUNOS DE SUS  
AFLUENTES, EN EL MUNICIPIO DE BOLIVAR DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**Presentado por:  
IVAN FELIPE VIDAL MARTINEZ  
JOSE DAVID VILLA FIGUEROA**

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

**Director  
Mg. HILLDIER ZAMORA GONZALEZ**

**Asesora  
Maestrante MARCELA J. SERNA ZAMORA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2013**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Director \_\_\_\_\_  
Hildier Zamora González, Mg.

Jurado \_\_\_\_\_  
José Beltrán Vidal, Mg.

Jurado \_\_\_\_\_  
Giovanni Varona Balcázar, Mg.

Fecha de sustentación: 26 junio de 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros padres y hermanos por su paciencia y apoyo.

Al profesor Hildier Zamora González por abrirnos las puertas en el grupo de Recursos Hidrobiológicos Continentales y darnos la oportunidad de empezar un nuevo proyecto, además por brindarnos la dirección del mismo.

A la Corporación Regional del Cauca, CRC por vincularnos como investigadores del componente hidrográfico en la fase de levantamiento de un diagnóstico del Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas del Municipio de Bolívar.

A la Maestrante Marcela Serna Zamora por brindarnos asesoría durante todas las etapas del proyecto.

A Maira Ghissel Sánchez Meza por su constante apoyo, compañía y ayuda en la elaboración integral de este estudio.

A Miller Guzmán por prestarnos asesoría en la identificación de los MAE, así como en la determinación de los índices biológicos.

A nuestros compañeros biólogos que nos apoyaron con asesorías e información bibliográfica.

A nuestros amigos por darnos fuerzas para seguir y terminar nuestros estudios.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<b>RESUMEN</b>	11
<b>INTRODUCCIÓN</b>	12
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	13
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	14
<b>3. OBJETIVOS</b>	15
<b>3.1 OBJETIVO GENERAL</b>	15
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	15
<b>4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE</b>	16
<b>4.1 CONTEXTO INTERNACIONAL, NACIONAL Y REGIONAL</b>	16
<b>4.2 CALIDAD DEL RECURSO AGUA</b>	17
<b>4.3 CALIDAD BIOLÓGICA</b>	17
<b>4.3.1 Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua.</b>	18
<b>4.3.2 Índices biológicos.</b>	18
<b>4.4 CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA</b>	19
<b>4.4.1 Parámetro hidrológico: descarga o caudal.</b>	21
<b>4.5 CRITERIOS DE CALIDAD Y USO DE AGUAS EN COLOMBIA</b>	21
<b>4.6 ÍNDICES FISICOQUÍMICOS</b>	21
<b>4.6.1 Índice de Calidad de Agua (ICA).</b>	21
<b>4.6.2 El Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF).</b>	21
<b>4.7 INDICES EN COLOMBIA</b>	21
<b>5. METODOLOGÍA</b>	26
<b>5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	26
<b>5.1.2 Clasificación climatológica.</b>	26
<b>5.2 MUESTREO HIDROBIOLÓGICO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES.</b>	26
<b>5.2.1 Tamaño de la muestra.</b>	26
<b>5.2.2 Sitios de muestreo</b>	28

5.2.3 Jornadas de campo.	28
5.2.4 Muestreo y capturas.	28
5.2.5 Identificación de los MAE.	30
5.3 MUESTREO FISICOQUÍMICO HÍDRICO	30
5.3.1 Medición de caudal o aforo.	31
5.4 MUESTREO BACTERIOLÓGICO	31
5.5 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	32
6. ANALISIS DE RESULTADOS	33
6.1 GENERALIDADES OBSERVADAS EN LOS SITIOS DE MUESTREO	33
6.1.1 Sistemas de producción.	33
6.1.2 Topografía.	33
6.1.3 Vegetación.	34
6.1.4 Características edafológicas.	35
6.2 CARACTERIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LOS SITIOS DE MUESTREO	35
6.2.1 Caracterización de macroinvertebrados acuáticos en cada sitio de muestreo.	36
6.3 ÍNDICES DE CALIDAD BIOLÓGICA	49
6.3.1 Índice de Monitoreo Biológico BMWP.	49
6.3.2 Índice de Diversidad de Shannon (H').	51
6.3.3 Índice de dominancia de Simpson.	52
6.3.4 Índice de Disimilitud/Similitud de Bray Curtis.	53
6.3.5 Correlación entre índices de diversidad Shannon-Weaver, Simpson y BMWP adaptado para Colombia.	53
6.4 CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA	55
6.4.1 Índice de Calidad del Agua NSF.	55
6.4.1.1 Turbidez.	58
6.4.1.2 Temperatura.	58
6.4.1.3 pH.	60
6.4.1.4 Dureza total.	61
6.4.1.5 Conductividad y sólidos disueltos totales.	62

<b>6.4.1.6 Nitritos y nitratos.</b>	<b>63</b>
<b>6.4.1.7 Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de Oxígeno.</b>	<b>64</b>
<b>6.4.1.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO.</b>	<b>65</b>
<b>6.4.1.9 Demanda Química de Oxígeno, DQO.</b>	<b>66</b>
<b>6.4.1.10 Coliformes totales y fecales.</b>	<b>67</b>
<b>6.5 DESCARGA O CAUDAL</b>	<b>68</b>
<b>6.6 INDICES DE CONTAMINACIÓN ICO</b>	<b>69</b>
<b>6.7 CORRELACIÓN YCOMPARACIÓN INDICES DE CALIDAD</b>	<b>70</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>75</b>

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b>	Índices de aplicación biológica, aplicación e interpretación. 18
<b>Cuadro 2.</b>	Clases, valores y características para aguas naturales, clasificadas mediante el índice BMWP. 19
<b>Cuadro 3.</b>	Parámetros fisicoquímicos evaluados. 20
<b>Cuadro 4.</b>	Decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 del Ministerio de Salud y Protección Social. 22
<b>Cuadro 5.</b>	Criterios de calidad de agua según Decretos 475 y 1594 del Ministerio de Salud y Protección Social para parámetros fisicoquímicos. 23
<b>Cuadro 6.</b>	Índices de contaminación, descripción e interpretación. 25
<b>Cuadro 7.</b>	Puntos de muestreo parte baja del Rio San Jorge y algunos de sus afluentes. 28
<b>Cuadro 8.</b>	Macroinvertebrados presentes en los once puntos de muestreo. 37
<b>Cuadro 9.</b>	Macroinvertebrados más representativos para cada punto de muestreo. 41
<b>Cuadro 10.</b>	Calidad del agua en cada sitio de acuerdo al índice de monitoreo biológico BMWP. 50
<b>Cuadro 11.</b>	Diversidad biológica de los sitios según índice de Shannon-Weaver. 52
<b>Cuadro 12.</b>	Índices de Simpson (D, 1/D) obtenidos para cada sitio. 53
<b>Cuadro 13.</b>	Resumen del índice de similaridad de Bray Curtis por zonas de muestreo. 54
<b>Cuadro 14.</b>	Valores de los Índices obtenidos para cada sitio. 55
<b>Cuadro 15.</b>	Correlación de Pearson de los índices de calidad y diversidad determinados. 55
<b>Cuadro 16.</b>	Valores determinados de los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo. 57
<b>Cuadro 17.</b>	Clasificación del índice NSF para cada sitio de muestreo. 58
<b>Cuadro 18.</b>	Relación conductividad/salinidad de los sitios. 63
<b>Cuadro 19.</b>	Cálculo del caudal total en cada sitio de muestreo. 69
<b>Cuadro 20.</b>	Índices de contaminación calculados para los sitios de muestreo. 70
<b>Cuadro 21.</b>	Correlación de Pearson de los índices de calidad y contaminación determinados. 71
<b>Cuadro 22.</b>	Comparativo de la clasificación y coloración de los parámetros fisicoquímicos incluidos en el índice NSF, los índices NSF y BMWP. 72

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Escala de clasificación por colores para los rangos del índice NSF.	24
<b>Figura 2.</b> Interpretación de los Índices de Contaminación (ICO).	25
<b>Figura 3.</b> Localización de la Subcuenca Hidrográfica del Río San Jorge.	27
<b>Figura 4.</b> Sitios de muestreo escogidos.	29
<b>Figura 5.</b> Estructura de la comunidad a nivel de familias determinada en el estudio.	39
<b>Figura 6.</b> Estructura de la comunidad a nivel de géneros determinada en el estudio.	40
<b>Figura 7.</b> Abundancia de individuos por familia presentes en los diferentes sitios.	43
<b>Figura 8.</b> Abundancia de individuos por género presentes en los diferentes sitios.	44
<b>Figura 9.</b> Calidad biológica de los sitios según el BMWP.	51
<b>Figura 10.</b> Dendrograma de Bray-Curtis entre sitios de muestreo.	54
<b>Figura 11.</b> Tendencia de los índices a través de los sitios.	56
<b>Figura 12.</b> Clasificación de la turbidez según el índice NSF en los sitios.	59
<b>Figura 13.</b> Clasificación de la temperatura según el índice NSF en los sitios.	60
<b>Figura 14.</b> Clasificación del pH según el índice NSF en los sitios.	61
<b>Figura 15.</b> Clasificación de los SDT según el índice NSF en los sitios.	62
<b>Figura 16.</b> Clasificación de los nitratos según el índice NSF en los sitios.	64
<b>Figura 17.</b> Clasificación de la saturación de oxígeno disuelto según el índice NSF en los sitios.	65
<b>Figura 18.</b> Clasificación de la DBO según el índice NSF en los sitios.	66
<b>Figura 19.</b> Clasificación de las coliformes fecales según el índice NSF en los sitios.	68

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
<b>Fotografía 1.</b> Sitios de muestreo: (a) río Sánchez; (b) río San Jorge en su parte media (La Playa); (c) río San Jorge en su parte baja (Capellanías) (d) quebrada El Guadual.	34
<b>Fotografía 2.</b> (a) Vegetación observada en cercanías al sitio de muestreo sobre la quebrada El Guadual; (b) sitio de muestreo sobre la quebrada El Rodeo; (c) vegetación observada en cercanías al sitio de muestreo sobre la quebrada El Rodeo; (d) panorámica del río San Jorge en su parte baja (Capellanías).	36
<b>Fotografía 3</b> (a) Individuo del género <i>Helicopsychidae</i> ; (b) Individuo del género <i>Leptonema</i> (Hydropsychidae).	46
<b>Fotografía 4.</b> (a) <i>Chironomus</i> ( <i>Chironomidae</i> ); (b) <i>Anacroneuria</i> ( <i>Perlidae</i> ).	47
<b>Fotografía 5.</b> (a) Larva de <i>Típula</i> ( <i>Tipulidae</i> ); (b) <i>Sp.1 Baetidae</i> ( <i>Baetidae</i> ).	49

## RESUMEN

En los meses de Octubre y Noviembre del año 2009 se llevó a cabo la valoración transversal de la calidad biológica, fisicoquímica y microbiológica de las aguas de la subcuenca del río San Jorge en su parte baja y algunos de sus afluentes, con el propósito de estimar los efectos de las actividades antrópicas sobre el mismo. Este estudio se realizó dentro del marco de la fase de levantamiento de un diagnóstico de la zona, para la implementación del Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas, el cual a su vez obedece al Plan de Ordenamiento Territorial ejecutado por la Corporación Regional del Cauca, CRC. Se establecieron 11 sitios de muestreo de fácil acceso y de utilidad para la comunidad. Para la valoración de la calidad biológica se realizó el muestreo de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales, se caracterizó la estructura de la comunidad y se determinó la calidad mediante el índice BMWP adaptado para Colombia. Con respecto a la calidad fisicoquímica y microbiológica se realizaron mediciones *in situ* y en el laboratorio de la CRC de varios parámetros fisicoquímicos y coliformes (fecales y totales), además se determinaron los índices de calidad fisicoquímica NSF y de contaminación ICOs: ICOMO, ICOMI, ICOPH e ICOSUS para cada sitio. Por otra parte se correlacionaron los valores obtenidos de cada índice mediante una prueba estadística de correlación de Pearson. En total se colectaron 858 individuos agrupados en 28 familias y 38 géneros, siendo *Leptonema*, *Anacroneuria* y *Thraulodes* los más representativos del estudio. El índice BMWP mostró que las aguas de algunos sitios sobre el río San Jorge y algunos de sus afluentes tienen calidad que va desde buena a crítica. El índice NSF reveló que los sitios tienen calidad que va desde buena a media. Los índices de contaminación ICO mostraron que solamente un sitio presenta contaminación por ICOMI e ICOSUS. La correlación de Pearson para los índices BMWP y NSF fue positiva y significativa (al 95,0%). Finalmente se concluye que la actividad antrópica y condiciones propias de la naturaleza de la zona afectan la calidad del agua de la subcuenca del río San Jorge en su parte baja.

## INTRODUCCIÓN

Los ríos en general, se definen como sistemas funcionales y complejos de hábitat en gradientes variados, los cuales reflejan el estado y los procesos que ocurren en las superficies que drenan, lo anterior supone una creciente susceptibilidad a las transformaciones ocurridas en las diferentes cuencas hidrográficas. Estas modificaciones han sido evidenciadas científicamente en diversos estudios tanto en el ámbito nacional como internacional, asimismo como las antrópicas por tanto se constituyen en motivo de investigación (Cardona Londoño, 2006). En este sentido, y con el propósito de estimar los efectos de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas acuáticos tales como: ríos, quebradas, lagos, entre otros, se han desarrollado diversos métodos biológicos y fisicoquímicos que permiten estudiar y conocer las alteraciones que sufren a través del tiempo y el espacio dichos ecosistemas. Para alcanzar este objetivo se cuenta con modelos eficientes de evaluación y diagnóstico, donde a partir del desarrollo y utilización de herramientas se pueden establecer atributos físicos de los cuerpos de agua correspondientes a descriptores primarios, o índices para la evaluación de hábitat fluviales, de igual forma, se aplican otros sistemas más complejos como los índices de calidad biológica, éstos últimos arrojan mayor cantidad de información (Rodríguez *et al.* 2007)

Paralelo a esto encontramos los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE), -organismos que habitan sobre el fondo de los ríos y lagos ó enterrados en el fango, la arena y adheridos a troncos o vegetación, nadando activamente dentro del agua o sobre la superficie y se pueden observar a simple vista (Roldán, 1996), haciendo parte de los componentes principales de las cadenas tróficas de los ecosistemas acuáticos-, quienes se constituyen en bioindicadores de calidad de aguas muy utilizados por ser parte de lo que allí sucede a través del tiempo, trayendo numerosas ventajas respecto a otros organismos del ecosistema acuático (Rosenberg y Resh, 1993). Por lo tanto, los juicios respecto a la calidad del agua realizados mediante métodos biológicos complementados con métodos fisicoquímicos y análisis de coliformes son más confiables, que los obtenidos únicamente con los fisicoquímicos (Roldán, 1999).

En consecuencia, en el presente trabajo de investigación se realizó un análisis de la calidad biológica (utilizando los macroinvertebrados), fisicoquímica y microbiológica en la parte baja del río San Jorge y al mismo tiempo de algunos de sus afluentes, -río que pertenece a la cuenca del río Patía (localizada en jurisdicción de los municipios de Bolívar, Mercaderes, Almaguer, Patía y Sucre)-, y de esta forma, se evaluó el estado actual de una parte del río frente a las actividades antrópicas desarrolladas a lo largo de su recorrido. Dichos criterios de análisis, fueron estudiados de acuerdo a su variación entre las estaciones a muestrear en función del espacio en diferentes zonas de la subcuenca del río.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disponibilidad y suministro de los recursos hídricos superficiales concebidos como insumos fundamentales para el progreso de las comunidades, se constituyen en elementos imprescindibles en el desarrollo socio-ambiental del Cauca, departamento que entre sus recursos cuenta con el embalse de La Salvajina (Buenos Aires) que alberga una capacidad útil de agua de  $756 \times 10^6 \text{ m}^3$ , además de poseer 78 lagunas, con un volumen de  $1.065 \times 10^3 \text{ m}^3$  de agua, sumado a lo anterior, con base en el número de ciénagas y pantanos la oferta corresponde a  $650 \times 10^3 \text{ m}^3$ , para una oferta total de  $9.581 \times 10^3 \text{ m}^3$  de agua. Igualmente, hay presencia de corrientes superficiales, entre las que se destacan los ríos Naya, Micay, Bubuey y Guapi direccionadas hacia la vertiente del Pacífico, así como las originadas en el Macizo Colombiano, como el Magdalena, Cauca, Patía y Caquetá (PDM, 2012).

La parte baja de la subcuenca del río San Jorge (extensión de 41.510 hectáreas), cuenta con relieve de laderas de montaña, formas complejas, suelos muy superficiales pedregosos o rocosos, con pendientes entre 20 y 60 por ciento, está influenciada a lo largo de su recorrido hasta desembocar en el río Patía por actividades antrópicas representadas en cultivos de uso ilícito, deforestación, sobrepastoreo, vertimiento de basuras y aguas residuales a las que no se les aplica ningún tipo de tratamiento y, en menor proporción por cultivos de pancoger; lo anterior, se encuentra asociado a graves problemas de erosión trayendo consigo fuertes deslizamientos continuos, haciendo que se considere como zona de susceptibilidad de remoción en masa (PDM, 2012).

En consecuencia y sumado a la susceptibilidad de la subcuenca del río San Jorge, producto de las actividades antrópicas y factores que generan graves repercusiones para la biodiversidad del ecosistema y la conservación de sus recursos naturales de la zona impactando negativamente en el entorno, en las comunidades de sus alrededores y sobre todo en la calidad biológica, fisicoquímica y de dinámica fluvial, la presente investigación centró sus esfuerzos mediante una valoración (considerando los parámetros biológicos y fisicoquímicas del sistema hídrico), en brindar información eficaz la cual sea el punto de partida para el diseño de alternativas conducentes al mejoramiento ambiental del entorno.

A partir de la situación descrita anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿En qué proporción las actividades antrópicas han impactado los parámetros de calidad biológica y fisicoquímica del agua en la parte baja del río San Jorge y algunos de sus afluentes, del municipio de Bolívar, departamento del Cauca?

## 2. JUSTIFICACIÓN

La información actual de la calidad del recurso hídrico que presenta la parte baja de la subcuenca del río San Jorge constituye para la autoridad ambiental departamental, representada en el Cauca por la Corporación Regional del Cauca “CRC”, un tema de gran importancia medio ambiental, ya que del sistema lótico considerado, dada su ubicación estratégica, se surten varios acueductos veredales y distritos de riego en su parte alta, media y baja. A partir de nuevos hallazgos y variación de las características específicas en los recursos agua, suelo o aire, la CRC deberá diseñar y ejecutar políticas y acciones tendientes a mitigar los impactos ambientales que están degradando este ecosistema, y al mismo tiempo brindar directrices para su ordenamiento y evitar su deterioro por efecto del incremento de actividades de origen antrópico.

El interés del presente estudio, es debido al nivel de gravedad de los impactos generados a raíz de la poca conciencia y/o responsabilidad ambiental de las comunidades que habitan esta zona y al aumento del grado de deforestación en el que se encuentra el ecosistema a partir de las prácticas de ganadería extensiva y sistemas agrícolas insostenibles, que a nivel general aportan material alóctono tales como residuos de abonos y aguas servidas, elementos de origen orgánico e inorgánico que terminan afectando la cantidad y calidad del recurso hídrico (PDM, 2012). Es así como la Corporación Regional del Cauca “CRC” prioriza la ordenación de la Subcuenca del río San Jorge, de esta forma y con base en lo estipulado por el Decreto 1729 de 2002, que reglamenta el ordenamiento de las Cuencas Hidrográficas en Colombia, la CRC incorpora en su Plan de Acción, la ejecución de proyectos que permitan dar cumplimiento a dicha normatividad. Entre ellos, la entidad cuenta con el “Plan de Ordenación y Manejo de la Parte Baja de la Subcuenca Hidrográfica del río San Jorge”, a partir del cual se pretende conocer, entre otros aspectos, el estado actual del recurso hídrico en términos de su calidad (estudio de bioindicadores, sumado con la caracterización fisicoquímica y estudios bacteriológicos) y a la par, establecer medidas de control y mitigación a corto, mediano y largo plazo sobre las corrientes hídricas que hacen parte de la subcuenca.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se justifica desde el punto de vista teórico y metodológico, porque pretende aportar conocimientos a través de métodos de valoración transversal, que permiten realizar un diagnóstico en términos de la calidad del agua de la subcuenca, teniendo en cuenta las actividades previamente señaladas, estableciendo si los diferentes procesos producto de las diversas actividades antrópicas realmente tienen efectos en el ecosistema acuático y en el entorno en general, integrándonos con el desarrollo del plan de acción propuesto por la CRC y, contribuyendo de alguna forma, con la recuperación del ecosistema.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar una valoración transversal de la calidad biológica y fisicoquímica del agua en la parte baja del río San Jorge y algunos de sus afluentes en el municipio de Bolívar departamento del Cauca.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Caracterizar la estructura (composición, abundancia y diversidad) de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad biológica de la subcuenca del río San Jorge en su parte baja y algunos de sus afluentes.

Determinar la calidad biológica mediante los índices de Shannon-Weaver y el BMWP adaptado para Colombia.

Establecer la calidad fisicoquímica hídrica y microbiológica del río San Jorge en su parte baja y algunos de sus afluentes como complemento del análisis de calidad biológica, mediante los índices NSF, índices de contaminación ICOs y los criterios de manejo y calidad de aguas para Colombia.

## 4. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

En el ámbito internacional, nacional y regional se han realizado diversas investigaciones que se constituyen en un punto de partida para el presente estudio. A continuación se relacionan las más destacadas y pertinentes. Con el propósito de contextualizar la investigación, se realiza un breve recorrido teórico el cual permita tener una mejor comprensión de la misma.

### 4.1 CONTEXTO INTERNACIONAL, NACIONAL Y REGIONAL

Aguirre en 2011, estudió los macroinvertebrados acuáticos de la subcuenca del río Yanuncay de la ciudad de Cuenca (Ecuador), utilizando el índice BMWP, medición de parámetros fisicoquímicos y el índice NSF, además realizó estudios de calidad hidromorfológica (protocolo CERA-S) y comparaciones entre los índices determinados. En total contabilizó 24 familias de macroinvertebrados y encontró diferencias significativas entre la comparación de los índices.

En 2009 Córdova y colaboradores, evaluaron la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central) en cinco estaciones de muestreo en el período de bajo caudal. En cada estación se colectaron macroinvertebrados acuáticos, se midieron *in situ* parámetros fisicoquímicos y en laboratorio. También se determinó la toxicidad del agua mediante bioensayos con microalgas. Se determinaron 33 familias de macroinvertebrados, el taxa dominante fue *Dugessidae*. Se correlacionaron índices bióticos y de diversidad con los parámetros fisicoquímicos.

En 2004 Bustamante y colaboradores, evaluaron y analizaron algunos índices de calidad del agua en la cuenca media del río Quindío. En cada estación se aforaron y tomaron muestras para los análisis de calidad del agua. Los resultados se interpretaron por medio de los índices de contaminación acuática ICOMO, ICOMI, ICOSUS e ICOTRO. Asimismo, se colectaron macroinvertebrados para emplearlos como bioindicadores aplicando el índice biótico de calidad del agua BMWP/Col. adaptado por Roldán, como complemento se registró la velocidad, profundidad y área mojada de cada estación. Los resultados en general, indican que desde el punto de vista fisicoquímico el tramo estudiado se encuentra en condiciones de aceptable calidad; sin embargo, el índice biótico BMWP/Col. clasifica el agua, desde limpia a moderadamente contaminada.

En 2006 Longo *et al.*, llevaron a cabo muestreos mensuales de macroinvertebrados bentónicos en 2 estaciones en la quebrada Potrerillos (Patía, Cauca), con el fin de analizar los cambios espaciales y temporales en la composición y estructura de la comunidad en función de la estacionalidad de las lluvias. Se determinó que los periodos de lluvia escasa y moderada beneficiaron procesos de colonización y desarrollo de diversos taxa, presentando estas épocas los valores más altos de abundancia, riqueza y diversidad ( $H'$ ). Lo anterior se relacionó con un caudal continuo y poco variable, que favoreció la heterogeneidad de hábitats, niveles propicios de

variables físicas y químicas y la disponibilidad de mayor oferta alimenticia. Las lluvias abundantes trajeron una nueva dinámica hídrica, que aunque generaron hábitats inestables, permitió la colonización de organismos, principalmente de aquellos con estadios alados, lo que incrementó la riqueza y diversidad.

## **4.2 CALIDAD DEL RECURSO AGUA**

El recurso agua, es un elemento indispensable para el bienestar sociocultural de las comunidades, siendo impensable la vida sin su consumo diario, su abastecimiento constante y bajo diversos parámetros de calidad le permiten a las naciones garantizarle a sus habitantes salud, educación y el disfrute de un medio ambiente sano, por lo tanto debe gozar de todas las garantías que el Estado y la sociedad en general puedan brindarle. Es así, como para la determinación de la calidad del agua se hace imprescindible evaluar sus características físicas, químicas y biológicas (componentes micro y macro). Dentro de las características biológicas de acuerdo con Zamora (2007), se encuentra la composición, estructura y diversidad de las comunidades acuáticas, tanto para flora como para fauna, tales como los componentes abióticos: condiciones climáticas, geográficas y geológicas; y, entre las características fisicoquímicas se encuentran: temperatura, pH, alcalinidad, oxígeno disuelto, turbidez, fósforo, nitrógeno, entre otros.

La calidad representa una diversidad de posibilidades de análisis e interpretaciones, teniendo en cuenta que entre un punto y otro se puede distinguir calidad o degradación ambiental, considerando todos los aspectos de salud ecológica, integridad biótica, influencia antrópica, entre otros. Esto se puede lograr por medio de indicadores ecológicos fácilmente asimilables a través de la aplicación de pruebas y procedimientos pertinentes de acuerdo a la situación (Zamora, 2007). Por lo tanto, los métodos biológicos y los fisicoquímicos, se constituyen en herramientas de análisis complementarias en los procesos de evaluación de calidad de las aguas epicontinentales, presentando la ventaja de reflejar no sólo las condiciones existentes durante la toma o los factores que influyen en la misma, sino también al combinarlos se puede obtener una visión en retrospectiva de lo sucedido en un lapso de tiempo determinado (Cardona, 2006). Teniendo en cuenta, el tipo de análisis que se desee realizar al ecosistema se han creado diversos índices y parámetros que pueden ser tenidos en cuenta con el propósito de establecer el grado de calidad del agua. Los más conocidos se relacionan a continuación:

## **4.3 CALIDAD BIOLÓGICA**

La calidad biológica en un ecosistema acuático, está determinada por la dominancia de las poblaciones de organismos adaptados, característicos, ó propios de la calidad de sus aguas, los cuales utilizamos como bioindicadores bien sea cualitativamente ó cuantitativamente, según el índice que se aplique (Zamora, 1999), su evaluación se

puede realizar con base en cualquiera de los grupos bióticos como bacterias, algas, macrófitas, protozoos, macroinvertebrados o peces, a partir del análisis de la estructura de su comunidad, el cálculo de índices de diversidad, o sometiendo organismos vivos a ensayos de laboratorio o bioensayos. En la actualidad, se utilizan principalmente las poblaciones y comunidades de Macroinvertebrados Acuáticos Epicontinentales (MAE).

**4.3.1 Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua.** Según Murgel (1984)<sup>1</sup>: “una especie indicadora es la que ocupa un nicho inalterado o un nicho creado por la perturbación ambiental”, es decir que no todos los organismos se adaptan a diferentes lugares; en este sentido, hay individuos que se encuentran en ciertos ambientes pero que cualquier alteración del medio los hace reducir en número hasta desaparecer, experimentando entonces un cambio en la estructura de la comunidad. La proporción en que se encuentran estos individuos en la comunidad determina la calidad del agua, es decir, no es la presencia de un solo individuo, sino la proporción en que éste se encuentre representado en la comunidad, lo que tiene valor en la calidad de agua. El principio básico del uso de macroinvertebrados en el monitoreo de ambientes acuáticos, es que algunos organismos son más tolerantes que otros a la contaminación y/o a la degradación de hábitats.

**4.3.2 Índices biológicos.** Están basados en la presencia de organismos vivos como indicadores del grado de calidad del agua, permiten a su vez evidenciar el estado del agua en un periodo de tiempo definido, magnitud de colonias, entre otros. Entre los índices biológicos, se destacan: el Índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party), Shannon-Weaver, el índice de Disimilitud-similitud de Bray-Curtis y el índice de dominancia de Simpson los cuales se resumen a continuación (Cuadro 1):

**Cuadro 1.** Índices de aplicación biológica, aplicación e interpretación.

Índice	Aplicación	Interpretación
BMWP (Biological Monitoring Working Party) (Roldán, 2003)	Método para evaluar la calidad del agua usando los MAE como bioindicadores, solo requiere llegar hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.	El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo a la tolerancia a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles reciben un puntaje mayor y las más tolerantes reciben puntuación baja.
Diversidad de Shannon-Weaver (Pla, 2006).	Se usa para determinar la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa.	Rango de 0,0–1,5 (Baja diversidad y Alta contaminación), 1,6–3,0 (Mediana diversidad y Mediana contaminación) y 3,1–5,0 (Alta diversidad y Baja contaminación)

<sup>1</sup> MURGEL, S. Limnología Sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Washington, D.C.: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. 1984. p 120.

**Cuadro 1.** Continuación.

<b>Índice</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Interpretación</b>
Dominancia de Simpson (D) (Magurran, 2004).	Se usa para determinar la diversidad, la dominancia y la equitatividad de una comunidad mediante el cálculo de la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una comunidad infinitamente grande pertenezcan a la misma especie.	A medida que aumenta D, la diversidad disminuye. Comunidad menos dominante por lo tanto más equitativa y viceversa.
Disimilitud/ Similitud de Bray-Curtis (Herrera, 2000).	Es un estadístico utilizado para cuantificar la similitud o disimilitud composicional entre dos sitios diferentes, basados en recuentos en cada sitio.	Valores de S más altos implican una mayor similitud (menor diferencia) y viceversa.

Además para el índice BMWP, con base en la suma de los valores de cada una de las familias presentes en el sitio de estudio, se obtendrá la calidad del agua, enmarcado en una de 6 categorías (Cuadro 2)

**Cuadro 2.** Clases, valores y características para aguas naturales, clasificadas mediante el índice BMWP.

<b>Clase</b>	<b>Rango</b>	<b>Calidad</b>	<b>Características</b>	<b>Color cartográfico</b>
I	≥ 120	Muy buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101-120	Buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61-100	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
IV	36-60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo
V	16-35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤ 15	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: ZAMORA, H. El Índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. En: Revista De La Asociación Colombiana De Ciencias Biológicas. 2007, vol. 19, p.80.

#### 4.4 CALIDAD FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA

Una de las metodologías usadas en la evaluación de la calidad de agua tradicionalmente se basa en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, pues estos inciden en la productividad, flujo de energía dentro del ecosistema y ciclos de vida de los organismos entre otros (Roldán, 2003). Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco, et

al. 2005<sup>2</sup>). Las principales características de los parámetros o variables consideradas para la presente investigación son las enlistadas en el cuadro 3:

**Cuadro 3.** Parámetros fisicoquímicos evaluados.

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Turbidez</b>	Es producida por materiales en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos. Incide directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema (Roldán, 2003).
<b>Temperatura</b>	Influye en la proliferación y supervivencia de los microorganismos. A medida que la temperatura aumenta, se incrementan también sus reacciones enzimáticas. De la misma manera, bajas temperaturas limitan el crecimiento hasta su detención (Roldan, 2008).
<b>pH</b>	El pH adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es estrecho y crítico, la mayoría de animales acuáticos prefieren un rango de 6,5 a 8,0; fuera de este rango se reduce a la diversidad por estrés fisiológico y la reproducción (Reinoso <i>et al.</i> 2008).
<b>Dureza</b>	La dureza del agua está definida por la cantidad de iones de Calcio y Magnesio presentes en ella, evaluados como Carbonato de Calcio y Magnesio. Las aguas con bajas durezas (blandas) son biológicamente poco productivas, por lo contrario las aguas con dureza elevada duras son muy productivas (Roldán, 2003).
<b>Conductividad</b>	Capacidad del agua de transportar corriente eléctrica, que depende de los iones presentes, su concentración total y relativa, movilidad, valencia y temperatura de medición. Las soluciones acuosas con mayor concentración de ácidos, bases y sales son relativamente buenas conductoras; por el contrario, las soluciones con solutos orgánicos, poseen conductividad eléctrica baja o nula (APHA, 1992).
<b>Nitrógeno, Nitritos y Nitratos</b>	El Nitrógeno es esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de Oxígeno al ser oxidado por bacterias reduciendo por ende los niveles de éste, Las diferentes formas del Nitrógeno son importantes para establecer el tiempo transcurrido desde la polución de un cuerpo de agua. (Reinoso <i>et al.</i> 2008).
<b>Oxígeno Disuelto</b>	Es importante para muchos procesos bioquímicos entre otros. Los valores normales varían entre los 7,0 y 8,0 mg/L O <sub>2</sub> . Las fuentes de Oxígeno son la precipitación pluvial, la difusión del aire en el agua, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación moderada (Roldán, 2008).
<b>Porcentaje de Saturación de Oxígeno</b>	Es la cantidad de Oxígeno disuelto en el agua comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura. Los valores del Porcentaje de Saturación del OD de 80 a 120% se consideran excelentes y los valores menores al 60% o superiores a 125% se consideran malos. (Reinoso <i>et al.</i> 2008).

<sup>2</sup>OROZCO et al. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Tercera edición, Thompson Editoriales Spain Paraninfo, S.A., 2005 citado por SAMBONI, Natalia; CARVAJAL, Yesid; y ESCOBAR, Juan. A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *En*: Ing. Investig. Septiembre-Diciembre de 2007, vol. 27, no.3. p. 172-181. ISSN 0120-5609.

**Cuadro 3.** Continuación

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub></b>	Se refiere a la contaminación orgánica, evidenciado la cantidad de Oxígeno disuelto en el agua necesario para la oxidación bioquímica aerobia de las sustancias orgánicas en el agua; los valores por encima de los 10 mg/L O <sub>2</sub> reflejan aguas muy contaminadas y por debajo de 3 mg/L corresponden a aguas limpias (León, 2009).
<b>Demanda Química de Oxígeno DQO</b>	Se refiere a la cantidad de Oxígeno (mg/L O <sub>2</sub> ) consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en el agua; para su identificación se emplean oxidantes químicos, temperatura y tiempo; en otras palabras, indica el contenido de materia orgánica (Faña, 2002).
<b>Sólidos disueltos totales SDT</b>	Produce el mismo efecto que la turbidez. Los sólidos totales incluyen disueltos y suspendidos, los sólidos disueltos son aquellos que quedan después del secado de una muestra de agua a 103-105°C previa filtración de las partículas mayores a 1.2µm (Reinoso <i>et al.</i> 2008)
<b>Coliformes Totales y Coliformes Fecales</b>	Las bacterias coliformes se encuentran en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los seres humanos, cuya presencia se puede considerar como un indicio de aguas contaminadas con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición, como materia fecal, encontrándose en mayor proporción en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Ramos <i>et al.</i> 2004).

**4.4.1 Parámetro hidrológico: descarga o caudal.** Es el flujo por unidad de tiempo generalmente expresado en litros o m<sup>3</sup> por segundo. Es básico para saber de cuanta agua se dispone para usar en las diferentes aplicaciones y para una planificación hidrológica. Con el caudal varían la profundidad y ancho del cauce e influyen en la población de flora y fauna que vive en ella, también es importante para áreas fuera del lecho del río o de la zona inundada a través de recarga de acuíferos (Martínez y Fernández, 2006).

#### **4.5 CRITERIOS DE CALIDAD Y USO DE AGUAS EN COLOMBIA**

Los cuadros 4 y 5 presentan los Decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 del Ministerio de Salud y Protección Social y en resumen los Criterios de calidad de agua según estos decretos para parámetros fisicoquímicos respectivamente. En este estudio se utilizarán dichos criterios con la finalidad de realizar un análisis complementario y estructurado de los parámetros fisicoquímicos escogidos, dentro de las exigencias de las normas del país.

#### **4.6 ÍNDICES FISICOQUÍMICOS**

Se obtienen a partir de un valor numérico adimensional, el cual encierra las magnitudes de determinados parámetros individuales, donde su número y tipo varía

según el índice establecido; se utiliza principalmente, para evaluar la calidad de una fuente de agua y su evolución con el tiempo.

**Cuadro 4.** Decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 del Ministerio de Salud y Protección Social.

Decreto	Art.	Descripción
475 de 1998 <sup>3</sup>	1º.	Para los efectos del presente decreto, adóptense las siguientes definiciones: <b>Aceptable:</b> Calificativo que aprueba las características organolépticas del agua para consumo humano.
	2º.	Las disposiciones del presente decreto son de orden público y de obligatorio cumplimiento y con ellas se regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano.
1594 de 1984 <sup>4</sup>	4	Los criterios de calidad establecidos en el presente Decreto son guías para ser utilizados como base de decisión en el ordenamiento, asignación de usos al recurso y determinación de las características del agua para cada uso.
	5	Entiéndase por tratamiento convencional para potabilizar las aguas, los siguientes procesos y operaciones: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.
	30	Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su empleo en actividades tales como: a) Fabricación o procesamiento de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución. b) Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato. c) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios. d) Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares.
	31	Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.
	32	Se entiende por uso agrícola del agua, su empleo para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, que el Ministerio de Salud o la EMAR (Entidad Encargada del Manejo y Administración del Recurso) establezcan.
	33	Se entiende por uso pecuario del agua, su empleo para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias que el Ministerio de Salud o la EMAR establezcan.
34	Se entiende por uso del agua para fines recreativos, su utilización, cuando se produce: a) Contacto primario, como en la natación y el buceo. b) Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.	

<sup>3</sup> Disponible en línea en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>

<sup>4</sup> Ibid.

**Cuadro 5.** Criterios de calidad de agua según Decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 del Ministerio de Salud y Protección Social para parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Unidad	Decreto 1594: uso del recurso							Decreto 475
		Humano y doméstico		Recreativo		Preservación de Flora y Fauna	Agrícola	Pecuario	
		Tratamiento convencional	Desinfección	Contacto primario	Contacto secundario	Agua cálida Dulce			
Turbidez	UNT		10			0			<5
Temperatura	°C	>40	>40	>40	>40	>40	>40	>40	
pH	UND	5,0-9,0	6,5-8,5	5,0-9,0	5,0-9,0	6,5-8,5	4,5-9,0	6,0-8,5	6,5-9,0
Dureza total	mg/L-CaCO <sub>3</sub>	>500	>500	>500	>500	>500	>500	>500	160
Conductividad	µmho/cm								50-1000
Nitritos	mg/L-N	1	1					10	0,1
Nitratos	mg/L	<10	<10					90	10
Oxígeno disuelto	mg/L-O <sub>2</sub>	>5	>5	>5	>5	4,0	>5	>5	>5
Saturación de oxígeno	%	70-75	>60	70	70	>60	60-75	60-75	>60
DBO	mg/L-O <sub>2</sub>	5-6	>4	5-10	5-10	3-15	5-30	5-30	3-15
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50
SDT	mg/L-CaCO <sub>3</sub>								500
Coliformes totales	NMP/100ml	<20000	<1000	<1000	< 5000		<5000		0
Coliformes fecales	NMP/100ml	<2000	<100	<200			<1000		0

Fuente: Disponible en línea en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>

**4.6.1 Índice de Calidad de Agua (ICA)**<sup>5</sup>. Consiste en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Su ventaja radica, en que la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos. Para su obtención, se aplican esencialmente tres procesos: selección de parámetros o variables, determinación del subíndice para cada parámetro y determinación del índice por agregación de los subíndices (Samboní, 2007).

**4.6.2 El Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF).** El índice de Calidad de Agua "Water Quality Index" (WQI), es un índice multiparámetro, desarrollado a partir de curvas de función promediadas para cada contaminante. Utiliza Oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO<sub>5</sub>, nitratos, fosfatos, desviación de temperatura, turbiedad, y sólidos totales, como parámetros para el cálculo del índice. El NSF usa una suma lineal ponderada para calcular el índice de calidad agregado del agua. El resultado de su aplicación, debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente. El resultado final es interpretado de acuerdo con la siguiente escala de clasificación, en la que el fondo representa el color correspondiente a cada rango (Fernández y Solano, 2005) (figura 1):

**Figura 1.** Escala de clasificación por colores para los rangos del índice NSF.

<b>Excelente: 91-100</b>
<b>Buena: 71-90</b>
<b>Media: 51-70</b>
<b>Mala: 26-50</b>
<b>Muy Mala: 0-25</b>

## 4.7 INDICES EN COLOMBIA

El conjunto de índices denominados ICO tuvieron su base en los resultados de análisis multivariados de componentes principales de común utilización en monitoreos en la Industria Petrolera Colombiana, y han demostrado enormes ventajas sobre los ICA (WQI) debido a que los ICA generalmente, involucran en un solo parámetro numerosas variables que conllevan a diversos problemas tales como: (i) No correspondencia del puntaje de la calidad de agua con el grado de contaminación en uno o entre dos o más cursos de agua, (ii) falta de sensibilidad a fenómenos estacionales de unas u otras variables, (iii) dificultad de correlación con procesos de

<sup>5</sup>FERNANDEZ, N., y SOLANO, Fredy. Indicadores de Calidad del Agua. En: Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Pamplona (Colombia): Universidad de Pamplona, 2005, p. 27

bioindicación, y (iv) pérdida sustancial de información (Fernández y Solano, 2005). En el desarrollo de las formulaciones de estos índices de contaminación, se tuvieron en cuenta diversas reglamentaciones, tanto colombianas como internacionales, para diferentes usos de agua; así como registros de aguas naturales colombianas y relaciones expuestas por otros autores en los ICA, con el fin de potencializar su uso a diferentes situaciones y lograr en ellos una generalidad en su aplicación (Fernández y Solano, 2005). A continuación, se resumen algunos de los índices ICO, los cuales emplean parámetros químicos, físicos y microbiológicos para la evaluación del agua (cuadro 6) y su interpretación colorimétrica se observa en la figura 2.

**Cuadro 6.** Índices de Contaminación<sup>6</sup>, descripción e interpretación.

Índice	Descripción	Interpretación
Contaminación por Mineralización (ICOMI).	Expresado en las variables conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por los cationes Calcio y Magnesio y alcalinidad por los aniones. Es el valor promedio de los índices de cada una de las 3 variables elegidas.	Se define en un rango de 0 a 1; valores muy bajos cercanos a cero reflejan baja contaminación por el índice y cercanos a uno lo contrario.
Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO).	Expresado en las variables DBO y coliformes totales, ya que reflejan fuentes diferentes de contaminación por materia orgánica, así como el porcentaje de saturación de Oxígeno que indica la respuesta o capacidad ambiental del sistema ante este tipo de polución. El índice es el valor promedio de los índices de cada una de las 3 variables elegidas.	
Contaminación Por pH (ICOpH).	Índice de calidad por pH, determinado mediante la concentración hidrogeniones en el agua.	
Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS).	Índice de calidad por sólidos suspendidos, determinado mediante la concentración de los sólidos suspendidos.	

**Figura 2.** Interpretación de los Índices de Contaminación (ICO)

ICO	Grado de Contaminación	Escala de Color
0 - 0.2	Ninguna	
> 0.2 - 0.4	Baja	
> 0.4 - 0.6	Media	
> 0.6 - 0.8	Alta	
> 0.8 - 1	Muy Alta	

Fuente: Fernández y Solano, 2005

<sup>6</sup>FERNANDEZ, N., y SOLANO, Fredy. Índices de Calidad de Agua (ICA) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial. En: Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Pamplona (Colombia): Universidad de Pamplona, 2005, p. 106

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Subcuenca baja del río San Jorge pertenece a la cuenca del río Patía; se encuentra localizada en jurisdicción de los municipios de Bolívar, Mercaderes, Almaguer, Patía y Sucre. Cuenta con un área 31.271 hectáreas (ha), de las cuales 28.000 corresponden al municipio de Bolívar representando el 92.5% del área total de la parte baja de la Subcuenca; 1.289 de éstas, corresponden al municipio de Mercaderes; 909, al municipio de Almaguer; 487, al municipio de Patía; y 586, al municipio de Sucre. En su parte baja, el río San Jorge inicia su recorrido en el municipio de Almaguer corregimiento de Llacuanas, pasando por la parte central del municipio de Bolívar, hasta desembocar en el río Guachicono en inmediaciones de los municipios de Mercaderes y Patía, en este recorrido tiene una longitud de 37.47 Km (PDM, 2012).

**5.1.2 Clasificación climatológica.** En la región se presenta un clima ecuatorial de montaña que es influenciado por la climatología oceánica mediante los vientos de dirección Suroeste-Noreste siguiendo la configuración del valle del Patía, haciendo que las mayores precipitaciones se registren sobre las laderas y frente orográfico de la cordillera Central y disminuyan hacia el valle interandino, donde se presentan núcleos de diversas magnitudes (POMCH, 2010)<sup>7</sup>. La temporada en donde disminuye la precipitación, en general tiene lugar en el lapso comprendido entre los meses de Junio a Agosto, siendo este último mes el que presenta reducciones considerables en la precipitación.

La temperatura media de la región es relativamente estable; su variación está determinada por los pisos altitudinales y varía entre los 28° C en la parte baja y los 15°C en las zonas más altas.

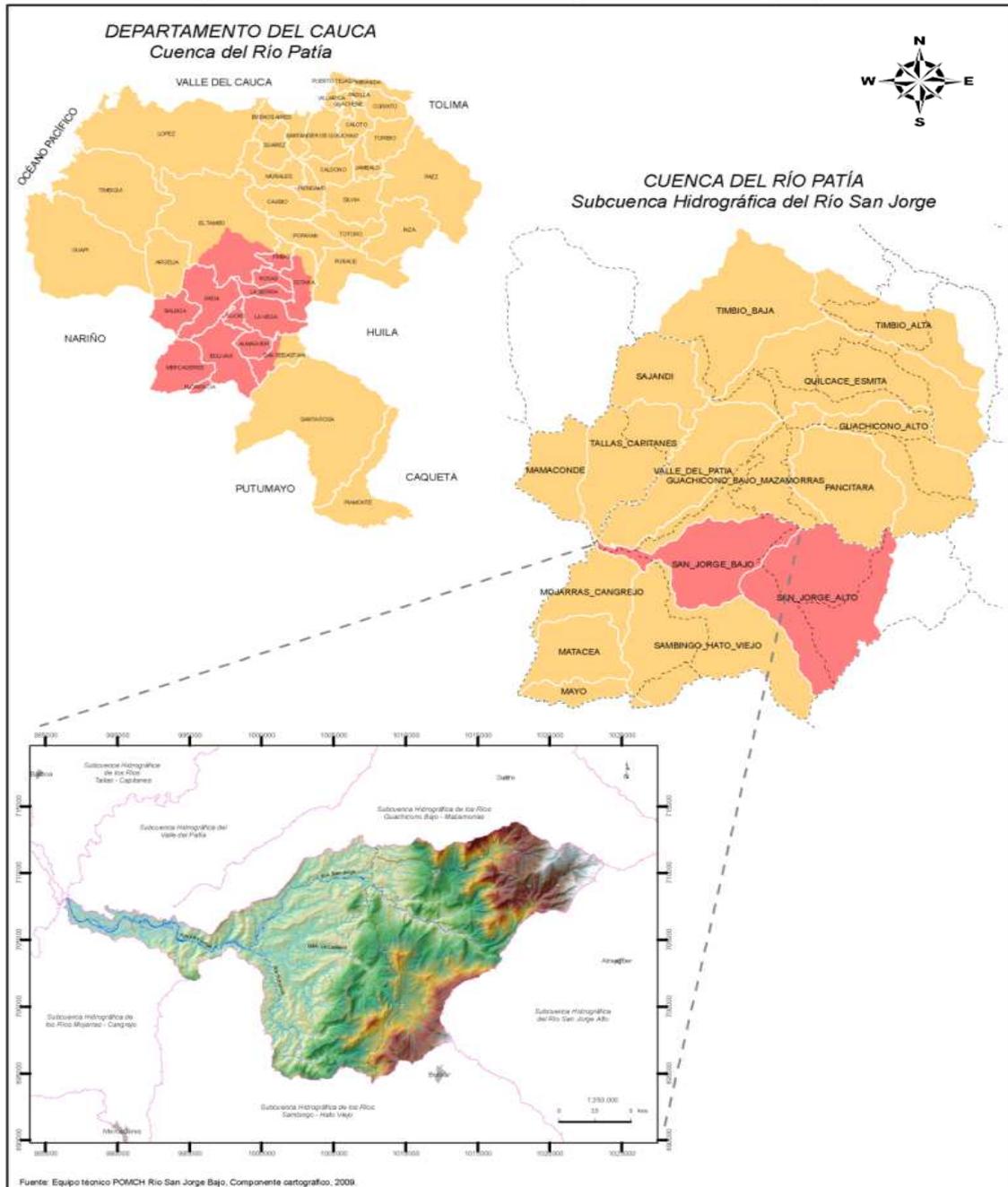
### 5.2 MUESTREO HIDROBIOLÓGICO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES.

**5.2.1 Tamaño de la muestra.** La época de recolección de muestras, correspondió a los meses de octubre a noviembre de 2009, periodo en el cual el país y particularmente el sector afrontaron uno de los fenómenos del niño más fuertes, provocando la disminución drástica de los niveles de agua. Se tuvieron en cuenta 5 muestras por sitio seleccionado.

---

<sup>7</sup>FUNRAICES. PLAN DE ORDENACION Y MANEJO PARTE BAJA DE LA SUBCUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO SAN JORGE, POMCH BAJO SAN JORGE. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA C.R.C. 2010. 267 p.

**Figura 3.** Localización de la Subcuenca Hidrográfica del Río San Jorge.



**5.2.2 Sitios de muestreo.** Los sitios o puntos para realizar las mediciones y las capturas de macroinvertebrados para el análisis de calidad, fueron escogidos (cuadro 6, figura 4) porque representan lugares de fácil acceso en los que la comunidad hace uso del recurso para diversas actividades como: doméstico, recreativo, pecuario, agrícola, entre otros. Cabe resaltar que se hicieron dos muestreos sobre el río San Jorge en su parte baja: uno sobre la mitad del trayecto en el sector La Playa y otro sobre la parte baja del trayecto en el sector de Capellanías.

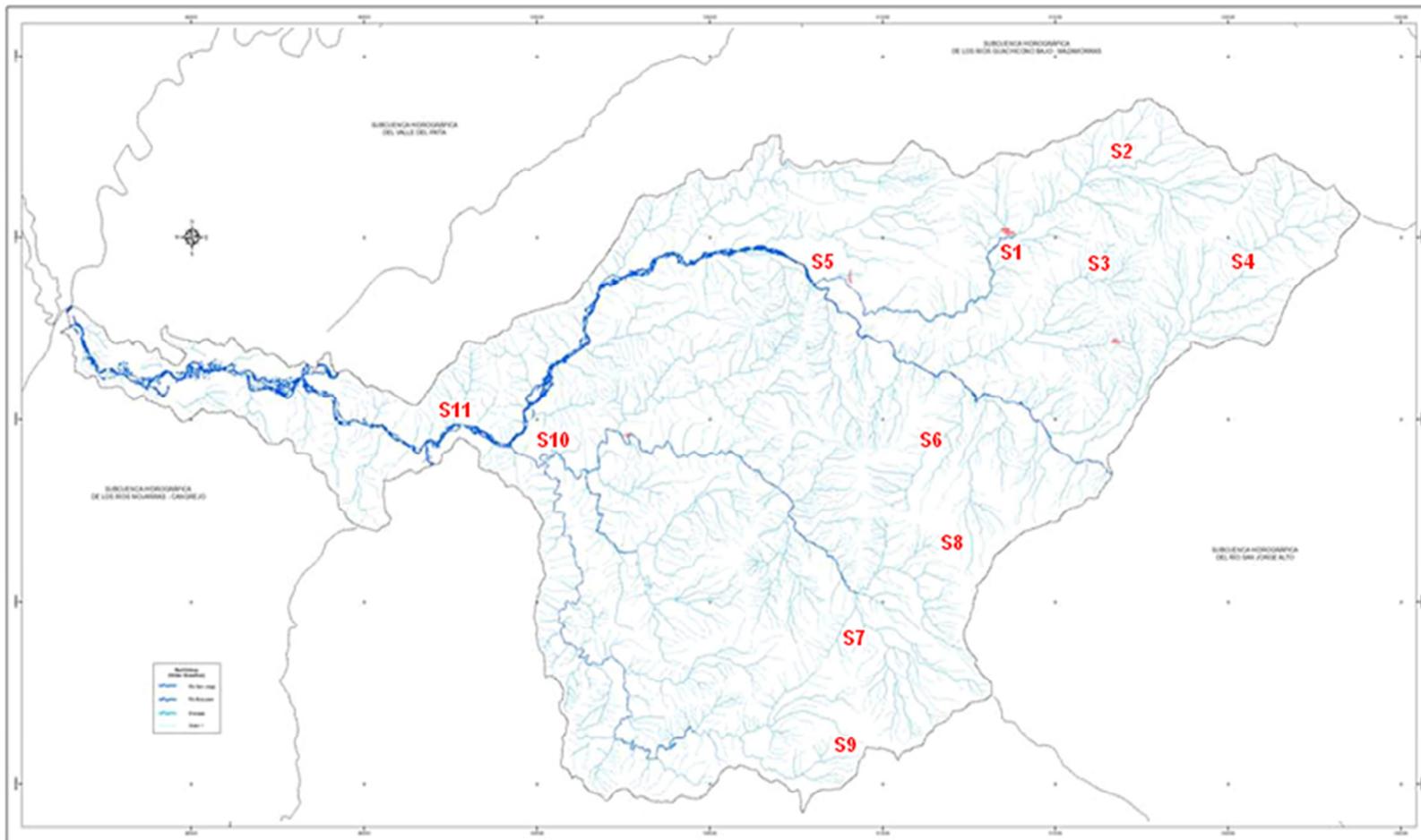
**Cuadro 7.** Puntos de muestreo parte baja del Rio San Jorge y algunos de sus afluentes

Sitio	Altura (m.s.n.m.)	Longitud W	Latitud N
Río Sánchez	1103,1	-76°57'4.71"	1°58'29.09"
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	1567,0	-76°55'23.63"	1°59'37.15"
Quebrada Rancherías (Tambores)	1864,8	-76°55'34.33"	1°58'21.12"
Río Blanco	1567,4	-76°53'36.38"	1°57'56.93"
Río San Jorge (La Playa)	813,7	-77°00'35.76"	1°58' 37.76"
Quebrada El Guadual	1258,0	-76°58'22.40"	1°54'32.8 0"
Quebrada La Medina	1348,2	-76°59'52.60"	1°52'57.63 "
Quebrada Mata de Puro	1364,2	-76°58'22.14"	1°53'58 .31"
Quebrada Los Rastrojos	1365,3	-77°00'19.33"	1°50'2 1.98"
Quebrada El Rodeo	775,3	-77°04'12.32"	1°54'58.67"
Río San Jorge (Capellanías)	752,3	-77°05'46.24"	1° 55'35.22"

**5.2.3 Jornadas de campo.** Se adelantaron jornadas de campo en las horas de la mañana y tarde (de 9:00 am a 4:00 pm), consistentes en definir y localizar los sitios o estaciones de muestreo, escoger un tramo en cada afluente, caracterizar las condiciones ecosistémicas de los sectores, la topografía de la zona, definir la ubicación geográfica, determinar las condiciones fisicoquímicas del agua y realizar los muestreos de los MAE.

**5.2.4 Muestreo y capturas.** Para el estudio en las estaciones de muestreo se utilizaron los macroinvertebrados acuáticos como comunidad bioindicadora, ya que ellos son testigos de las condiciones retrospectivas del sistema. Para conocer los microhábitats existentes de cada punto de muestreo se realizó un recorrido visual del sector de la estación a estudiar. Posteriormente se realizaron batidas con las redes en todos los microhábitats identificados en el sector, Incluyendo orillas con y sin vegetación, zonas de piedras, de arenas, grava, material vegetal en descomposición, lodos, zona de perífíton, y en general todos los substratos (coriotopos) en corrientes y sin ellas.

**Figura 4.** Sitios de muestreo escogidos.



Fuente: POMCH 2010

La captura se llevó a cabo por medio de una red de bentos, plástica, con poros de un 1mm y área de 1m<sup>2</sup>, sujeta a cada lado por dos palos de 1.5m de longitud. Se removió el sustrato del fondo (2m) aguas arriba en el río desprendiéndolos del fondo para que sean arrastrados por la corriente hasta la malla. Adicional a esto se tomaron sustratos como rocas troncos y hojas para retirar manualmente los organismos fijados a ellos. Los organismos colectados con pinzas de punta fina se pasaron a frascos de boca ancha con alcohol al 90 %. Los frascos se rotularon procurando que tuvieran la siguiente información: Lugar de recolección, características especiales del lugar donde se tomó la muestra, fecha, altitud, georeferenciación, entre otras, posteriormente se guardaron en una nevera para su posterior análisis en el laboratorio.

**5.2.5 Identificación de los MAE.** Las muestras fueron transportadas al laboratorio de la CRC y la identificación se realizó con la ayuda de claves taxonómicas especializadas de la zona tropical, teniendo en cuenta el número de morfoespecie, la familia, el grupo taxonómico, el número total de individuos por especie, el número total de individuos por familia y el número total de individuos de la muestra. Esta actividad se realizó con la ayuda de elementos de laboratorio como estereoscopio, cajas de Petri, pinzas y agujas, entre otros. Para la identificación de estos organismos se utilizaron claves taxonómicas encontradas en Wiggins, 1997; McCafferty, 1983; Roldán, 1996; Domínguez y Fernández, 2009; Machado, 1989 y Epler, 1996.

### **5.3 MUESTREO FISICOQUÍMICO HÍDRICO**

En esta fase se hicieron todas las mediciones que permitieron obtener los valores de algunos parámetros fisicoquímicos tomados *in situ*, mientras que otros y los bacteriológicos, fueron analizados en el laboratorio de la CRC. Para ello se tuvieron en cuenta los criterios de calidad necesarios para el levantamiento de la información primaria como son el plan de trabajo de campo, fichas de campo previamente ajustadas y pertinencia en la utilización de los métodos y calibración de equipos de laboratorio para la obtención de los resultados, por lo tanto, a partir del reconocimiento de la zona de estudio se levantó la información relevante de los mismos. En cada una de los puntos de muestreo, se tomaron muestras simples o puntuales, considerando el tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó la captación. Se utilizaron recipientes plásticos con capacidad de 1 Litro, los cuales fueron etiquetados con la siguiente información: número de muestra, fecha, hora, lugar de recolección y fuente, y posteriormente introducidas en una nevera de icopor con suficiente cantidad de hielo con el fin de preservar las muestras.

*In situ*, con la ayuda de equipos electrónicos se determinaron por quintuplicado parámetros como temperatura ambiental e hídrica y concentración de Oxígeno disuelto; porcentaje de saturación de Oxígeno disuelto, pH, conductividad. Dicha medición se realizó con una sonda multiparamétrica marca HACH. MEDIDOR PORTATIL MULTIPARAMETRO MODELO: HQ40D CAT: HQ40D53153000 para

medición en campo de pH, conductividad, Temperatura de agua, Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de Oxígeno disuelto. Parámetros como DBO<sub>5</sub>, DQO, turbidez, nitritos, nitratos, dureza total, y sólidos disueltos totales se determinaron en el laboratorio de la CRC. Teniendo en cuenta los tiempos estipulados de conservación de las muestras hasta llegar al laboratorio y así no sufrir cambios o deterioro; todo esto enmarcado en el decreto 1594 de 1998. Los equipos utilizados en laboratorio fueron: pHmetro marca METHER TOLEDO AG/REFERENCIA: CH-8603-MP 225, conductímetro marca METROHM 717 COMDUCTOMETER, termorreactor para DQO marca MERCK. Equipo NOVA 60 MERCK SPECTROQUANT, Incubadora para DBO<sub>5</sub> marca SELECTA. Equipo marca INOLAB OVI LEVEL 2 "WTW".

**5.3.1 Medición de caudal o aforo.** En los sitios escogidos se realizaron mediciones puntuales de la velocidad de la corriente, esta se realizó con la ayuda de un molinete digital modelo HQ40D GLOBAL WATER. FLUJOMETRO MODELO: FP-111. Para la medición del caudal se empleó el método área-velocidad utilizado por Bustamante *et al.*, en 2008 el cual divide una sección transversal del río en varias sub-secciones verticales de 1m de ancho y requiere que se midan velocidades con el molinete a diferentes porcentajes de la profundidad de cada sub-sección con el fin de calcular la cantidad de agua que pasa por el área formada entre el ancho de la sub-sección y la profundidad de la vertical. La velocidad se mide a 20%, 60% y 80% de la profundidad en cada vertical, por lo que la velocidad media como:

$$\bar{V} = \frac{V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8}}{3}$$

El caudal en cada punto será,

$$Q_i = \bar{V} \times A_i$$

Siendo el caudal total,

$$Q_T = \sum_i^n Q_i$$

## 5.4 MUESTREO BACTERIOLÓGICO

Se realizó un muestreo bacteriológico con el fin de establecer la descarga orgánica a la que son sometidas las fuentes de agua durante su recorrido y con la cual se puede localizar los focos de algunas enfermedades que se presenten en la zona. Se realizó la toma de la muestra en un frasco esterilizado de alrededor 100 mL, volumen

suficiente para verificar todas las pruebas que se requieren. Por su parte inferior invirtiéndolo boca abajo, se sumergió a una distancia de 30 cm, con la otra mano se destapó, entonces se le dio una vuelta hasta que el frasco quedo inclinado boca arriba formando un ángulo de 45°, al mismo tiempo que se creó corriente artificial movilizandolo el brazo hacia delante, de tal manera que el agua que tocó la mano no entrara en el frasco mientras se llena su  $\frac{3}{4}$  partes, se sacó el frasco rápidamente, se tapó inmediatamente, se introdujo la muestra al termo el cual contenía hielo que permitió mantener y preservar refrigerada mientras llega al laboratorio, teniendo en cuenta que el periodo que transcurrió entre la recolección y el examen, se mantuvo la temperatura de la muestra entre 6-10 °C (refrigeración no congelación), de igual manera fue básico que el examen bacteriológico y fisicoquímico de las muestras de agua se iniciara inmediatamente después de su recolección. Específicamente en los sistemas de corrientes superficiales se analizaron parámetros como: Coliformes totales y fecales, según lo estipula el decreto 475 de 1998. Se utilizó un equipo para prueba de coliformes QUANTI-TRAY SEALER/MODEL 2X/MARCA: IDEXX # 89-10894-00.

## **5.5 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Se realizó el análisis integral de los resultados obtenidos, y se compararon con estudios anteriores, normatividad vigente y/o estándares aplicables en Colombia, en consecuencia, se evaluó, sistematizó y procesó toda la información obtenida a partir de los parámetros medidos en los distintos puntos de muestreo, así como el cálculo de índices de calidad BMWP y diversidad Shannon-Weaver, entre otros. Del mismo modo, se aplicaron índices de calidad acuática que permitieron conocer la importancia de los organismos, su grado de bioindicación y el estado del ecosistema, con base en los conceptos desarrollados en el marco teórico. El cálculo de los índices de calidad fisicoquímica se realizó mediante el programa ICATEST v1.0 diseñado por Nelson Fernández, Gabriel Ramos y Fredy Solano en el año 2005 en la Universidad de Pamplona (Norte de Santander). La comparación de los diversos índices se realizó a través de una prueba de correlación simple de Pearson, por ser un evento no experimental y se calculó mediante el programa estadístico SPSS versión 19.0.

## 6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 6.1 GENERALIDADES OBSERVADAS EN LOS SITIOS DE MUESTREO

**6.1.1 Sistemas de producción.** Las quebradas La Cumbre (Cementerio), Rancherías (Tambores), y el Río Blanco, son sitios que se clasifican como piso térmico templado (entre 1500 y 1800 m.s.n.m.), en la zona o en los alrededores predominan sistemas de producción tales como: la ganadería bovina de doble propósito, cría de especies menores, cultivos de café (tradicional), cultivos de maíz y frijol y cultivos ilícitos (coca). Entre otros sistemas se destaca la actividad minera como extracción a cielo abierto (también en el Río Sánchez): La explotación es realizada de manera esporádica, y el material rocoso es utilizado como material de afirmado y para el arreglo de la vía.

Otros sitios como los ríos San Jorge (en los sectores La Playa y Capellanías), el Río Sánchez, y las quebradas: El Rodeo, El Guadual, La Medina, Mata de Puro y Los Rastrojos son sitios que se clasifican como piso térmico cálido (entre 850 y 1500 m.s.n.m.), en la zona o en los alrededores predominan sistemas de producción de cultivos tales como: caña panelera, yuca, árboles frutales, cacao, y cultivos ilícitos. Entre otros sistemas se destaca la actividad minera como explotación de material de arrastre (solo en el sector La Playa): En la zona existen varias explotaciones legales (y artesanales sin legalizar) de gravas y arenas utilizadas para mantenimiento de la vía, obras viales y construcción de viviendas. En la quebrada La Medina se presenta extracción de materiales pétreos: Debido a su alto grado de fracturamiento y meteorización los basaltos se disgregan en pequeñas partículas y son utilizados para el afirmado de la vía recién conformada. Además extracción de arcillas: los ladrillos presentan buenas características de resistencia y apariencia, la quema se realiza con leña (POMCH, 2010).

**6.1.2 Topografía.** Las quebradas La Cumbre (Cementerio), Rancherías (Tambores), y los ríos Sánchez (fotografía 1a) y Blanco se caracterizan por ser zonas de Alta Amenaza por Remoción en Masa ya que se que presentan procesos de remoción en masa activos, lo cual se manifiesta en los diferentes rasgos asociados como son: montañas o colinas con pendientes mayores al 25%, escarpes, cañones, terrenos ondulados, escalones, etc. Cerca de los sitios o puntos de muestreo se observó presencia de asentamientos humanos en donde la red vial se ve un poco deteriorada. La dinámica fluvial se caracteriza por flujos turbulentos, lechos tortuosos y corrientes lentas. Finalmente se observan sustratos principales tales como: hojarasca, gravilla, piedra corriente lenta (PCL), y piedra corriente rápida (PCR).

Los ríos San Jorge en los sectores La Playa y Capellanías (fotografías 1b y 1c), y las quebradas: El Rodeo, El Guadual (fotografía 1d), La Medina, Mata de Puro y Los Rastrojos se caracterizan por ser zonas de Baja Amenaza por Remoción en Masa: Estas zonas se asocian con áreas en las cuales se presentan suelos finos (arenas, arcillas y Limos). En estas áreas, los procesos erosivos hídricos, la escasa cobertura vegetal, el

uso del suelo con cultivos limpios o ganadería extensiva, y la alternancia de estos suelos finos con materiales duros son características que favorecen la ocurrencia de diferentes procesos de inestabilidad que no involucran grandes volúmenes ni se extienden a zonas aledañas. Estos fenómenos se localizan puntualmente en diferentes áreas de la subcuenca, lo cual no permite la definición estricta de zonas correspondientes a esta categoría. Asimismo se observan montañas o colinas con pendientes mayores al 25%, escarpes, cañones, terrenos ondulados, escalones, etc. Se presentan asentamientos humanos, red vial deteriorada. Existe una dinámica fluvial caracterizada por flujos turbulentos, lechos tortuosos, corrientes lentas y se observan también sustratos principales tales como: hojarasca, gravilla, piedra corriente lenta (PCL), y piedra corriente rápida (PCR).



**Fotografía 1.** Sitios de muestreo: (a) río Sánchez; (b) río San Jorge (La Playa); (c) río San Jorge (Capellanías) (d) quebrada El Guadual (Fuente: Los autores 2010)

**6.1.3 Vegetación.** Áreas sobre sitios tales como: La quebrada El Guadual (fotografía 2a), la quebrada La Medina, la quebrada Mata de puro, El Rodeo (fotografía 2b), el río San Jorge en el sector de La Playa, entre otros, se caracterizan por agrupar grandes extensiones de pastizales y a su vez contienen pequeñas áreas de bosques fragmentados abiertos, pastos enmalezados o enrastrados y de áreas desnudas se

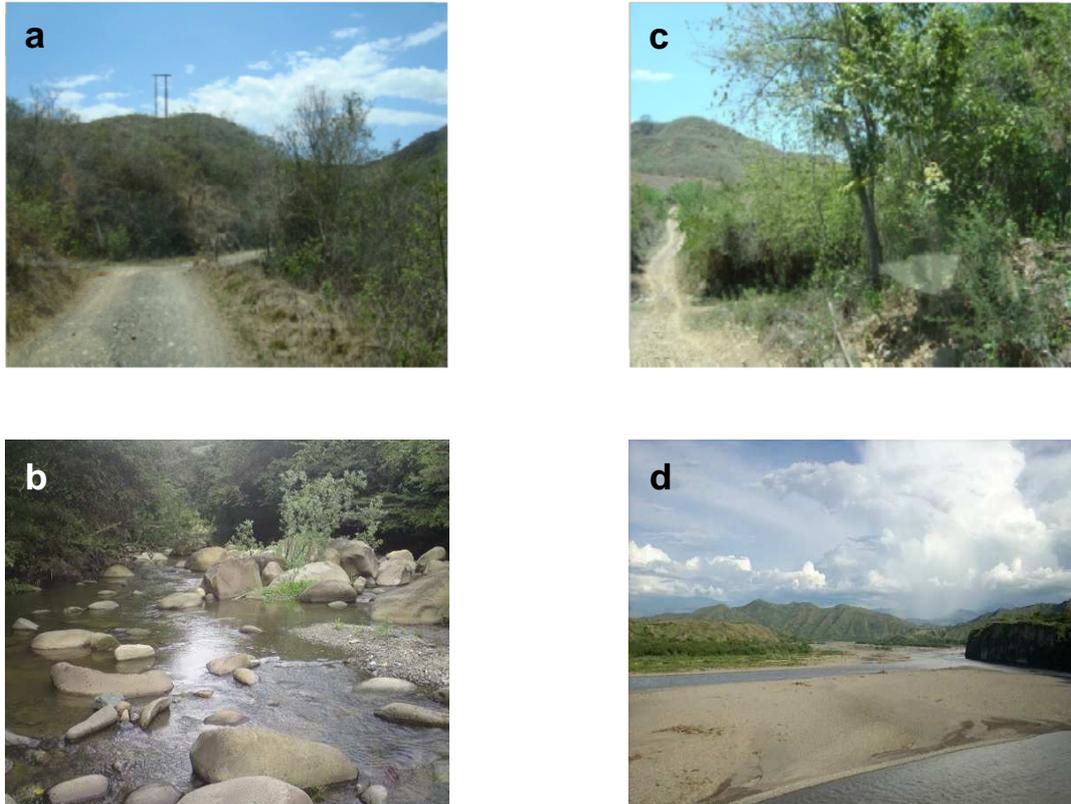
infiere que son áreas en procesos sucesionales no muy avanzados, predomina la vegetación rasante como gramíneas, poaceas y pequeños helechos, las cuales son usados por las comunidades para el pastoreo extensivo de ganado, además hay presencia extensiva de cultivos ilícitos como amapola y coca (fotografía 2c). Se observan pequeños relictos de bosque secundario en proceso de regeneración que han sido y están expuestos a la constante y continua presión antrópica, la deforestación indiscriminada es una de las principales causas del deterioro del medio ambiente, reflejado en procesos de erosión, pérdida de la diversidad biológica, uso inapropiado de los suelos, alteración negativa en el régimen de lluvias, pérdida de caudales y sedimentación de los cuerpos de agua (POMCH, 2010). La principal característica de estos bosques es la utilización que el hombre hace de ellos para la satisfacción de sus necesidades; a nivel doméstico, para la obtención de leña, madera (para construcciones propias de las fincas como viviendas, establos casetas entre otras) y postes; económico, en el caso de la extracción de madera con fines comerciales; y agropecuario, cuando se tala con el fin de abrir potreros y posteriormente sembrar cultivos, principalmente café y caña. Pero también para la extracción de leña para la combustión en ladrilleras, entre otras. En el sitio sobre el río San Jorge, sector Capellanías (fotografía 2d), su vegetación es escasa, no existen suelos fértiles y lo que se observa son afloramientos rocosos y abundante pedregosidad. En este punto, debido a las condiciones naturales del clima y de los suelos, se está dando un proceso de desertización, el cual se ha aligerado a por causa de algunas prácticas de producción inadecuadas, dando como resultado procesos de erosión de los suelos de la subcuenca.

**6.1.4 Características edafológicas.** Los sitios de la zona de estudio son áreas con suelos derivados de aluvios constituido por fragmentos gruesos (arenas, gravillas y cascajos), arcillolitas, lutitas y caolinitas con un desarrollo pedogenético insipiente, presentan erosión muy severa de tipo laminar en surcos, reptación (pata de vaca), con deslizamientos en masa y desprendimientos de rocas. Son suelos que van desde profundos a superficiales, limitados en algunos de ellos por la presencia afloramientos rocosos; bien a excesivamente drenados; las texturas van desde franca a arcillosa. La variabilidad del pH está en el rango 5,0 a 7,2, son suelos que van desde extremadamente ácidos a neutros, contenidos medios a bajos de Carbono orgánico; contenidos medianos a bajos de Fósforo en los dos primeros horizontes; alta saturación de bases, media a alta capacidad de intercambio catiónico, la saturación de Aluminio va desde media a alta; altos contenidos en Calcio, Magnesio, Molibdeno y Boro, y mediana a alta capacidad de intercambio catiónico (POMCH, 2010).

## 6.2 CARACTERIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

En los 11 sitios muestreados, se colectaron 883 individuos (cuadro 8) agrupados en los phylum: Artrópoda, Molusca y Platelminfos, cuatro clases (Insecta, Malacostraca, Gastropoda y Turbellaria), 11 ordenes, 28 familias (figura 5) y 38 géneros (figura 6). En cuanto a las familias, *Hydropsychidae* (174 ind.), *Baetidae* (120 ind.), *Perlidae* (95 ind.), *Leptophlebiidae* (73 ind.) y *Chironomidae* (71 ind.), son las más representativas

(abundantes) del estudio. Asimismo los géneros más representativos de acuerdo a su abundancia relativa son: *Leptonema* (16,53%), *Anacroneuria* (10,76%), *Thraulodes* (7,25%), *Chironomus* (5,10%) y *Helicopsyche* (4,30%).



**Fotografía 2.** (a) Vegetación observada en cercanías al sitio de muestreo sobre la quebrada El Guadual; (b) Sitio de muestreo sobre la quebrada El Rodeo; (c) Vegetación observada en cercanías al sitio de muestreo sobre la quebrada El Rodeo; (d) Panorámica del río San Jorge sector Capellanías (Fuente: POMCH Bajo San Jorge 2010)

**6.2.1 Caracterización de macroinvertebrados acuáticos en cada sitio de muestreo.** El cuadro 9 muestra los macroinvertebrados más representativos para cada sitio de muestreo y se observa que el sitio 1, Río Sánchez reportó el mayor número de individuos colectados 233 (26,4%), seguidos del sitio 2, Quebrada La Cumbre (Cementerio) con 135 individuos correspondientes al (15,3 %); Quebrada Mata de Puro con 107 (12,1%), y Río Blanco con 103 individuos correspondientes al 11,7%.

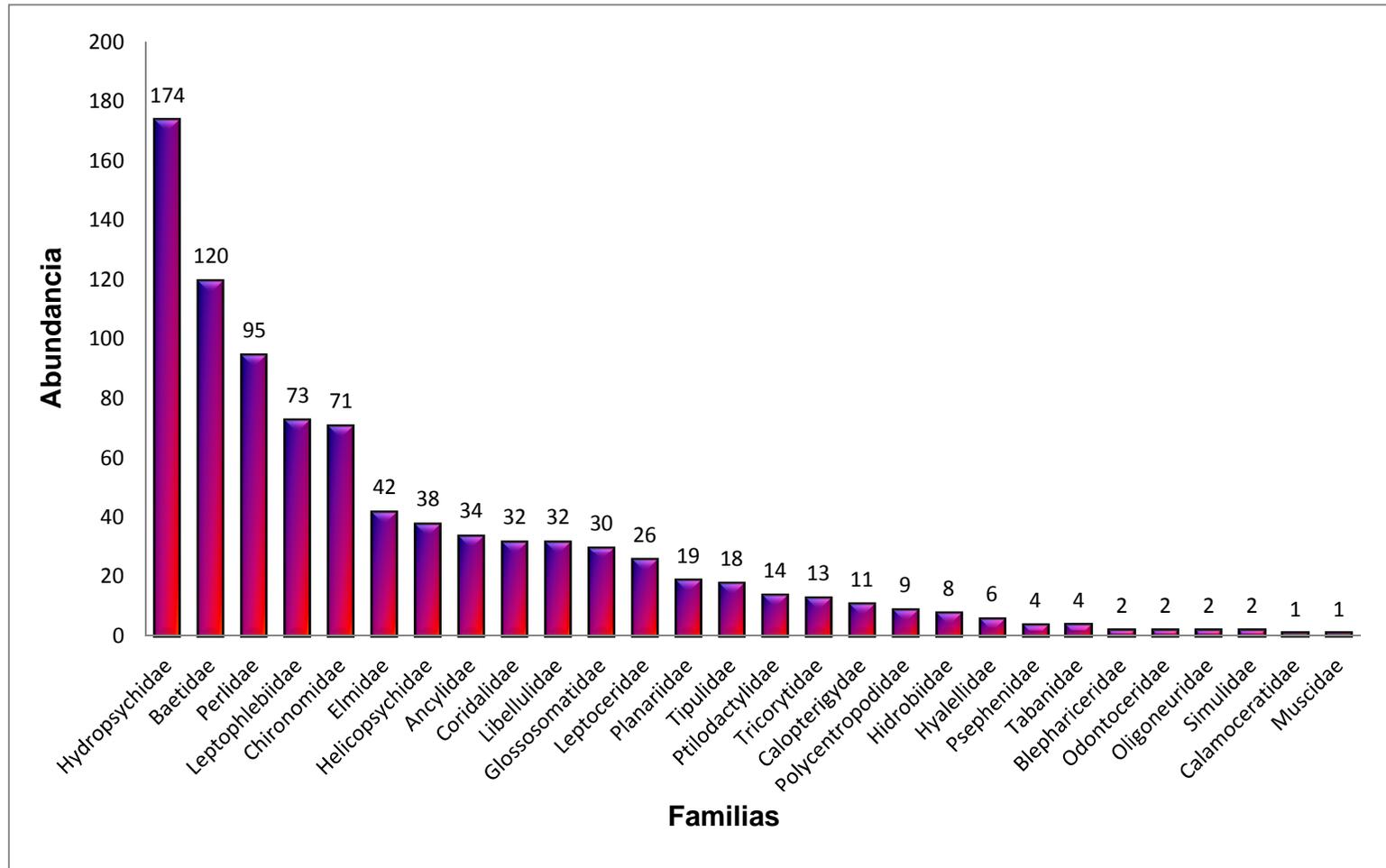
**Cuadro 8.** Macroinvertebrados presentes en los once puntos de muestreo

PHILUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	Quebrada La Cumbre	Quebrada El Guadual	Quebrada La Medina	Quebrada Los Rastrojos	Quebrada Mata de Puro	Quebrada El Rodeo	Quebrada Rancherías	Río Blanco	Río San Jorge La Playa	Río San Jorge Capellanías	Río Sánchez	Total individuos	Abundancia porcentual			
ARTROPODA	INSECTA	Odonata	Libellulidae	<i>Macrothemis</i>	19					10					3	32	3.62			
			Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>					6							5	11	1.25		
		Ephemeroptera	Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i>		12						1						13	1.47	
			Baetidae	<i>Baetodes</i>			4					4	6					14	1.59	
				<i>Sp1 (Baetidae)</i>		28										12	22	62	7.02	
				<i>Baetis</i>		5			3	21	3							32	3.62	
			Leptophlebiidae	<i>Dactylobaetis</i>											12			12	1.36	
				<i>Thraulodes</i>		20					7			19				18	64	7.25
				<i>Terpides</i>														6	6	0.68
				<i>Traverella</i>														3	3	0.34
			Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>													2	2	0.23	
		Megaloptera	Coridalidae	<i>Corydalus</i>		1	2	1	6	11	6	1				4	32	3.62		
		Coleoptera	Elmidae	<i>Cylloepus</i>		9							9	2	1	1	6	28	3.17	
				<i>Macrelmis</i>			6	1									3	10	1.13	
				<i>Heterelmis</i>		1							1					4	0.45	
			Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>					1		1		12					14	1.59	
			Psephenidae	<i>Psephenos</i>													4	4	0.45	
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>		14		25		18			14	3		21	95	10.76		
		Diptera	Tipulidae	<i>Tipula</i>					9		9							18	2.04	
			Blepharoceridae	<i>Limnicola</i>				2										2	0.23	
			Muscidae	<i>Limnophora</i>												1		1	0.11	
			Tabanidae	<i>Tabanus</i>			4											4	0.45	
			Chironomidae	<i>Chironomus</i>							13		6		26				45	5.10
				<i>Chironominae</i>													26	26	2.94	
			Simuliidae	<i>Simulium</i>													2	2	0.23	

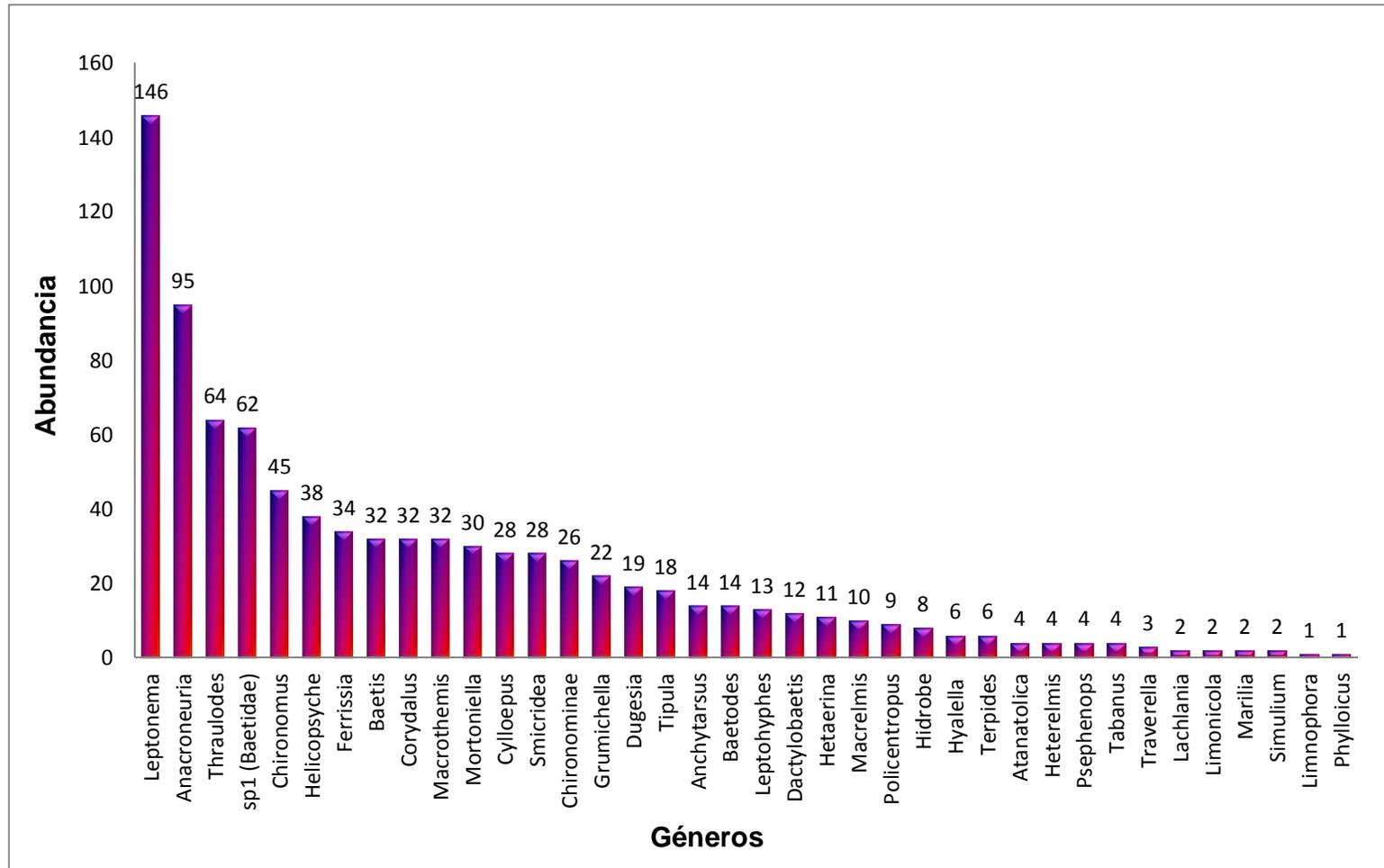
**Cuadro 8.** Continuación

ARTROPODA	INSECTA	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>												28	28	3.17
				<i>Leptonema</i>	38	19		5	29	5	10	10	7	6	17	146	16.53	
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>		1			2							1	4	0.45
				<i>Grumichella</i>			15						7				22	2.49
			Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i>			9						21				30	3.40
			Odontoceridae	<i>Marilia</i>									2				2	0.23
			Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>									9				9	1.02
	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>									1				1	0.11		
			Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	6										32	38	4.30	
	MALACOS-TRACA	Amphipoda	Hyaellidae	<i>Hyaella</i>				3		3						6	0.68	
MOLLUSCA	GASTROPO-DA	Basommatophora	Ancylidae	<i>Ferrissia</i>	16						7				11	34	3.85	
		Mesogastrópoda	Hidrobiidae	<i>Hidrobe</i>	6						2					8	0.91	
PLATHELMINTHES	TURBELLARIA	Tricladida	Planariidae	<i>Duggesia</i>											19	19	2.15	
3	4	11	28	38														
				N	135	72	57	27	107	37	41	103	51	20	233	883	100	

**Figura 5.** Estructura de la comunidad a nivel de familias determinada en el estudio.



**Figura 6.** Estructura de la comunidad a nivel de géneros determinada en el estudio.



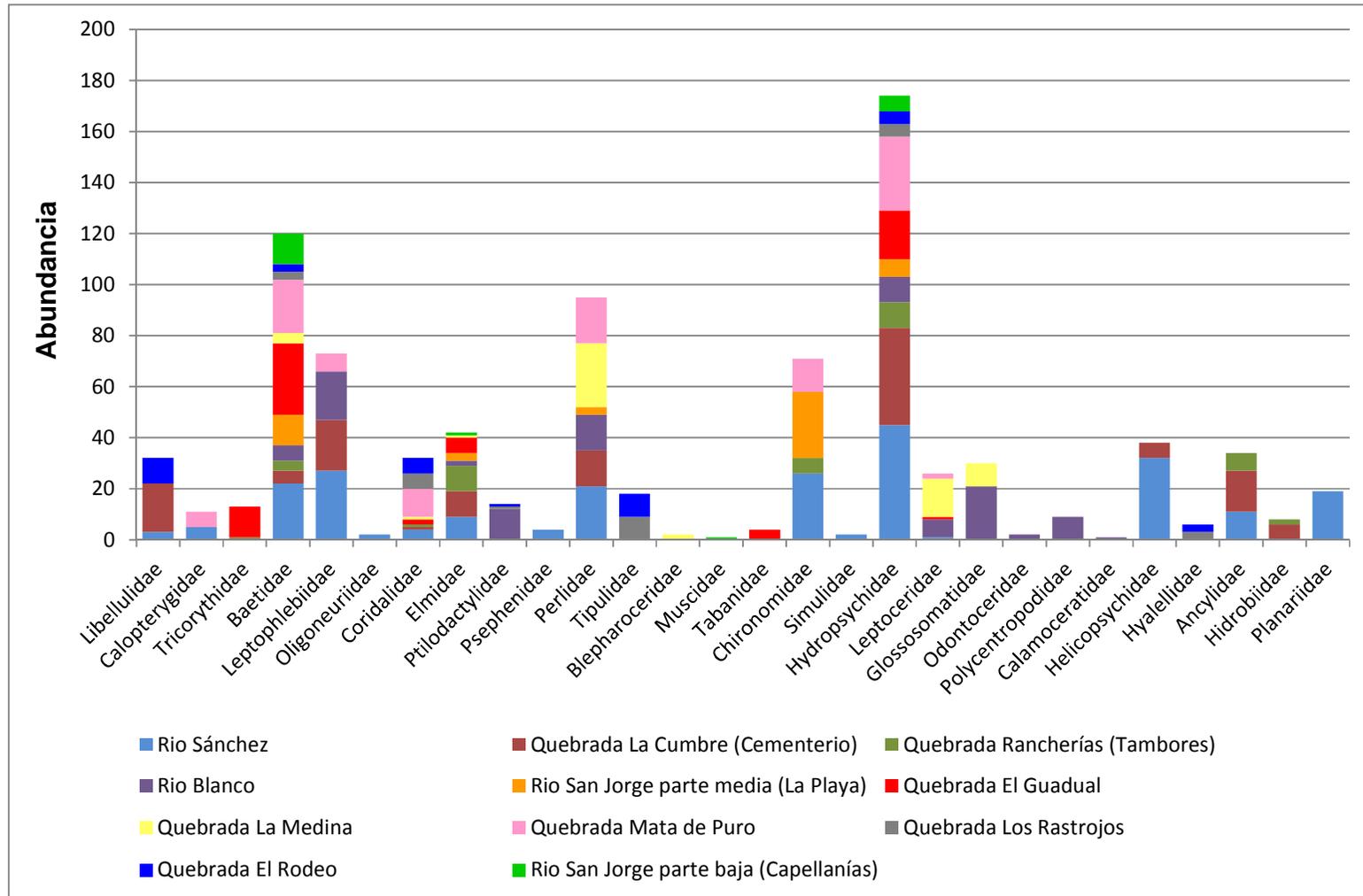
**Cuadro 9.** Macroinvertebrados más representativos para cada punto de muestreo.

Sitio	Ubicación	% de individuos por zonas	% de géneros más representativos
Sitio 1	Río Sánchez	233 (26,4%)	<i>Helicopsyche</i> 14% <i>Smicridea</i> 12% <i>Chironominae</i> 11% <i>Sp1 Baetidae</i> 9% <i>Anacroneuria</i> 9%
Sitio 2	Quebrada La Cumbre (Cementerio)	135 (15,3%)	<i>Leptonema</i> 28% <i>Thraulodes</i> 15% <i>Macrothemis</i> 14% <i>Ferrissia</i> 12% <i>Anacroneuria</i> 10%
Sitio 3	Quebrada Rancherías (Tambores)	41 (4,6%)	<i>Leptonema</i> 24% <i>Cylloepus</i> 22% <i>Ferrissia</i> 17% <i>Chironomus</i> 15%
Sitio 4	Río Blanco	103 (11,7%)	<i>Mortoniella</i> 16% <i>Thraulodes</i> 12% <i>Anacroneuria</i> 12% <i>Anchytarsus</i> 11%
Sitio 5	Río San Jorge parte media (La Playa)	51 (5,8%)	<i>Chironomus</i> 51% <i>Dactylobaetis</i> 24% <i>Leptonema</i> 14%
Sitio 6	Quebrada El Guadual	72 (8,2%)	<i>SP1(Baetidae)</i> 39% <i>Leptonema</i> 26% <i>Leptohyphes</i> 17%
Sitio7	Quebrada La Medina	57 (6,5%)	<i>Anacroneuria</i> 44% <i>Grumichella</i> 26% <i>Mortoniella</i> 16%
Sitio8	Quebrada Mata de Puro	107 (12,1%)	<i>Leptonema</i> 27% <i>Baetis</i> 20% <i>Anacroneuria</i> 17% <i>Chironomus</i> 12% <i>Corydalus</i> 10%
Sitio9	Quebrada Los Rastrojos	27 (3,1%)	<i>Tipula</i> 33% <i>Corydalus</i> 22% <i>Leptonema</i> 19%
Sitio 10	Quebrada El Rodeo	37 (4,2%)	<i>Macrothemis</i> 16% <i>Tipula</i> 12% <i>Corydalus</i> 12% <i>Leptonema</i> 11%
Sitio 11	Río San Jorge parte baja (Capellanías)	20 (2,3%)	<i>Sp1(Baetidae)</i> 60% <i>Leptonema</i> 30%

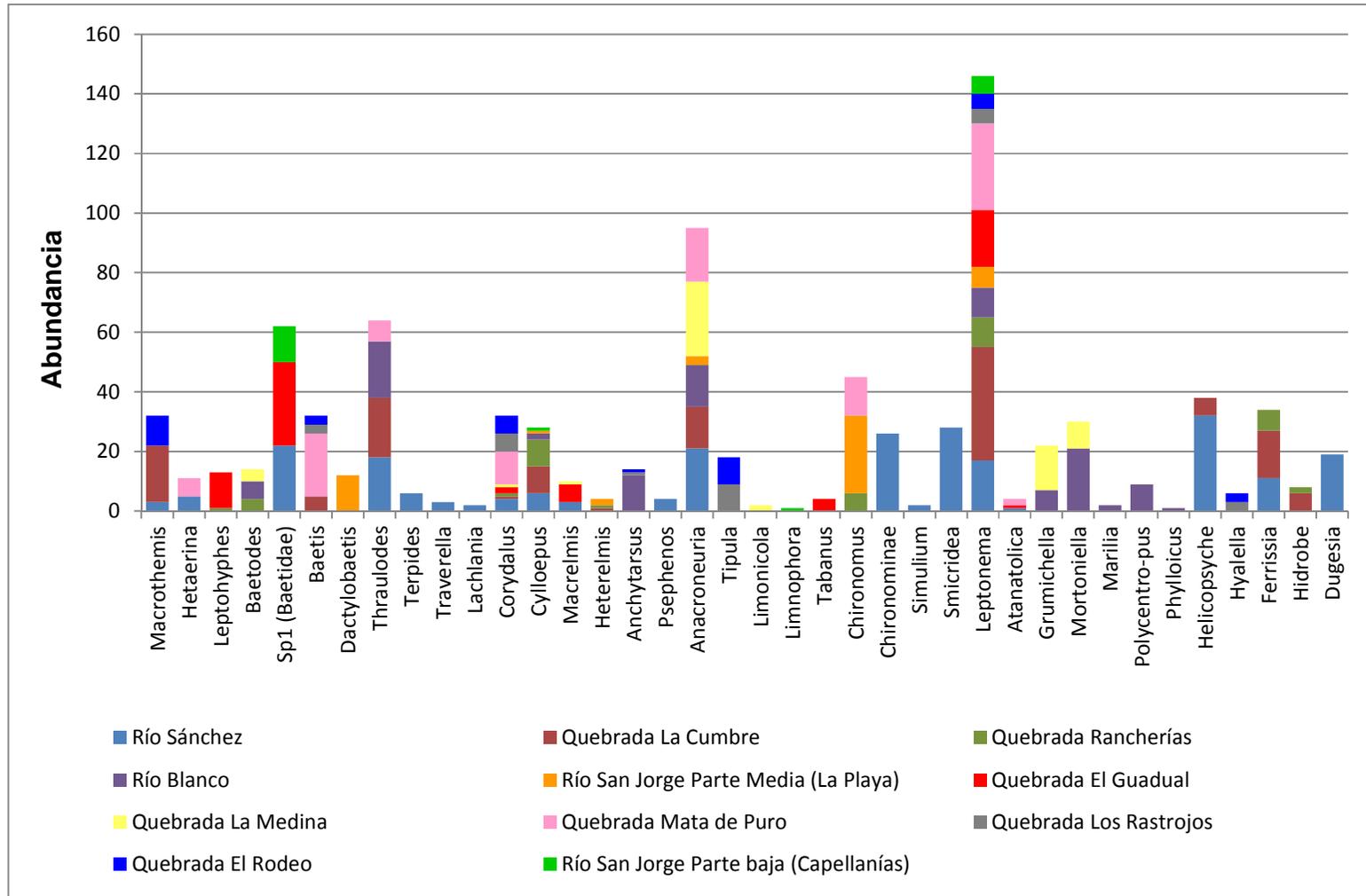
- **Río Sánchez (sitio uno).** En el sitio, se colectaron 233 individuos, agrupados en 16 familias (figura 7) y 9 órdenes, pertenecientes a 20 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Helicopsyche*, *Smicridea*, *Chironominae*, *sp1 (Baetidae)* y *Anacroneuria* (cuadro 9 y figura 8).

- **Quebrada La Cumbre (Cementerio) (sitio dos).** En este sitio se colectaron 135 individuos, agrupados en 10 familias (figura 7) y 8 órdenes, pertenecientes a 11 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Leptonema*, *Thraulodes*, *Macrothemis*, *Ferrissia* y *Anacroneuria* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).
- **Quebrada Rancherías (Tambores) (sitio tres).** Se colectaron 41 individuos, agrupados en 8 familias (figura 7) y 7 órdenes, pertenecientes a 9 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Leptonema*, *Cylloepus* y *Ferrissia* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).
- **Río Blanco (sitio cuatro).** Se colectaron 103 individuos, agrupados en 11 familias (figura 7) y 4 órdenes, pertenecientes a 11 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Mortoniella*, *Thraulodes*, *Anacroneuria* y *Anchytarsus* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).
- **Río San Jorge: La Playa (sitio cinco).** Se colectaron 51 individuos, agrupados en 5 familias (figura 7) y 5 órdenes, pertenecientes a 6 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Chironomus*, *Dactylobaetis* y *Leptonema* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).
- **Quebrada El Guadual (sitio seis).** Se colectaron 72 individuos, agrupados en 7 familias (figura 7) y 5 órdenes, pertenecientes a 7 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros: Sp1 (*Baetidae*), *Leptonema*, y *Leptohiphes* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).
- **Quebrada La Medina (sitio siete).** Se colectaron 57 individuos, pertenecientes a 7 géneros, agrupados en 7 familias (figura 7) y 6 órdenes, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Anacroneuria*, *Grumichella* y *Mortoniella* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).
- **Quebrada Mata de Puro (sitio ocho).** Se colectaron 107 individuos, agrupados en 8 familias (figura 7) y 6 órdenes, pertenecientes a 8 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Leptonema*, *Baetis* y *Anacroneuria* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).
- **Quebrada Los Rastrojos (sitio nueve).** Se colectaron 27 individuos, agrupados en 6 familias (figura 7) y 5 órdenes, pertenecientes a 6 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Tipula*, *Corydalus* y *Leptonema*, respectivamente (cuadro 9 y figura 8).
- **Quebrada El Rodeo (sitio diez).** Se colectaron 37 individuos, agrupados en 7 familias (figura 7) y 7 órdenes, pertenecientes a 7 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Macrothemis*, *Tipula*, *Corydalus* y *Leptonema* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).

**Figura 7.** Abundancia de individuos por familia presentes en los diferentes sitios.



**Figura 8.** Abundancia de individuos por género presentes en los diferentes sitios.



- **Río San Jorge: Capellanías (sitio once).** Se colectaron 20 individuos, agrupados en 4 familias (figura 7) y 4 órdenes, pertenecientes a 4 géneros, la distribución de la comunidad está dominada por los géneros *Sp1 (Baetidae)* y *Leptonema* respectivamente (cuadro 9 y figura 8).

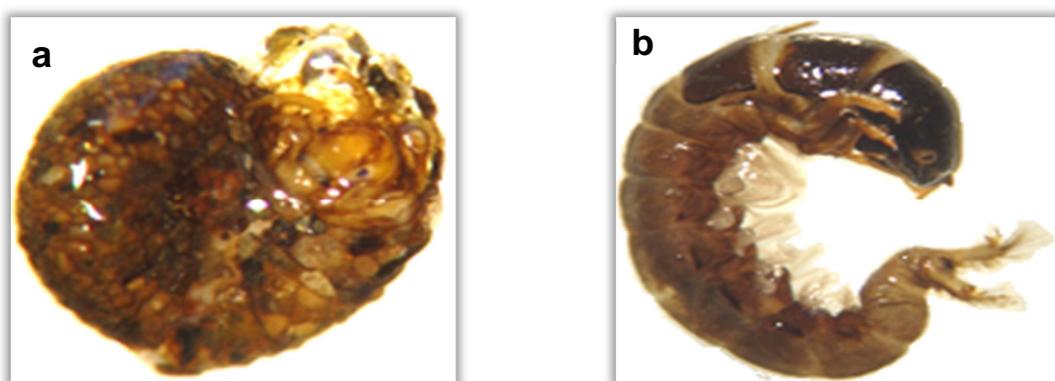
La abundancia del género *Helicopsyche* (fotografía 3a) en el sitio Río Sánchez, fue posiblemente debida a que el punto de muestreo es una zona de baja amplitud de cauce con grandes rocas que en épocas de baja precipitación (como es la del caso) generan corrientes moderadas, y se presentan principalmente coriotopos de hojarasca, piedra corriente rápida, piedra corriente lenta, gravilla y arena, lo que facilita la supervivencia del género ya que este habita en la superficie de piedras y rocas, donde raspan algas de la superficie (generalmente las larvas) (Springer, M., 2010). Asimismo el material vegetal, arena y pequeñas piedras permite la construcción de refugios y la fijación a un sustrato estable (Ruíz *et al.* 2002). Lo anterior confirma lo observado por Ruíz *et al.*, en 2002, en donde el género *Helicopsyche* también fue el más abundante en épocas de bajo caudal y/o precipitación. Finalmente se confirma que *Helicopsyche*, es un género que presenta una alta distribución en el neotrópico y corresponde a un comportamiento eurotolerante, es decir, se encuentra en sistemas con diferentes condiciones (Rocha, 2004).

Los sitios en las quebradas La Cumbre (Cementerio) (sitio dos), quebrada Rancherías (Tambores) (sitio tres), y la Quebrada Mata de Puro (sitio ocho) presentaron el género *Leptonema* (fotografía 3b) como el más abundante, esto debido posiblemente a que el muestreo se hizo en la época del año de mayor proliferación del género, además estos sitios presentan aguas de corrientes moderadas, altas concentraciones de Oxígeno, poca carga de materia orgánica y hábitats de supervivencia como: arena, piedras y rocas en el lecho, y con hojas, palos y troncos entre las piedras y rocas ideales para el género (Romero *et al.* 2006). Esto permite que las larvas construyan los refugios o casas con arena, fragmentos de material orgánico y minerales, los cuales los adhieren fuertemente con seda que ellas producen a las superficies de las piedras, rocas, y palos o troncos sumergidos, también construyen con seda pequeñas redes para atrapar alimento (invertebrados pequeños, algas, material vegetal). Asimismo, los adultos utilizan la vegetación para permanecer en ella y copular (Muñoz, 1999). Este género no es muy dependiente de las precipitaciones y del caudal, ya que por su condición de filtradores, su alimento es constante en épocas de lluvias por el efecto de la escorrentía y, en épocas de caudal bajo (como es el caso de este estudio), la presencia de algas favorece su desarrollo.

En estudios realizados por Ruíz *et al.*, en 2000 y Romero *et al.*, en 2006 el género *Leptonema* fue dominante cuando el caudal era bajo, lo que concuerda con las condiciones encontradas en este estudio. Finalmente se confirma que los organismos del género *Leptonema* están reportados entre los de mayor distribución y resistencia a condiciones ambientales deficitarias (Vásquez *et al.* 2010)

El sitio sobre el río Blanco (sitio cuatro) se caracterizó por tener abundancia del género *Mortoniella*. Este género tiene una amplia distribución altitudinal entre los 500 y 4000 m.s.n.m. (Romero *et al.* 2006), y en su estado larvario aprovecha recursos del río tales como: piedritas o granos de arena para formar pequeñas casas, las cuales cargan en

forma de concha de tortuga, a menudo con dos huequitos redondos o pequeñas “chimeneas” en su superficie dorsal. Además utilizan las piedras de mayor tamaño para permanecer encima de ellas sobre todo en la zona de corriente moderada, donde raspan algas y perifiton de la superficie pedregosa (Springer, 2010). Éste género presenta heterogeneidad espacial alta y se encuentra en la mayoría de los sustratos presentes en el río Blanco, tales como: hojarasca, piedra corriente lenta (PCL), y piedra corriente rápida (PCR). Los resultados encontrados en este estudio concuerdan con lo encontrado por Medellín *et al.*, en 2004 y Montoya en 2010, en el río Cane (Santuario de Iguaque, Boyacá) y la quebrada Vegas de la Clara (Antioquia) respectivamente, en donde el género *Mortoniella* fue el más abundante en época de baja precipitación.

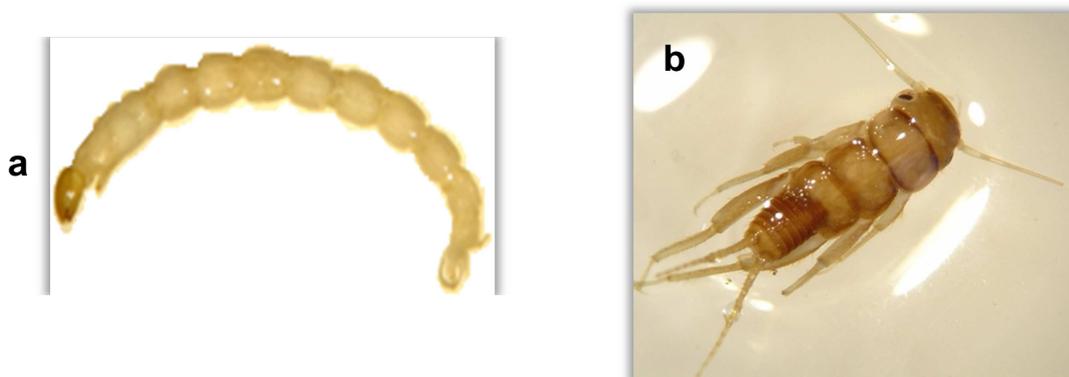


**Fotografía 3.** (a) Individuo del género *Helicopsycheidae*; (b) Individuo del género *Leptonema* (Hydropsychidae) (Fuente: Los autores, 2010)

El sitio ubicado en el río San Jorge en el sector La Playa (sitio cinco) presentó dominio del género *Chironomus* (fotografía 4a). La abundancia de este género se presentó en todos los sustratos (arena, grava, rocas, barro y hojarasca), en área de rápidos y en pequeños sitios lenticos. La gran abundancia de *Chironomus* se puede fundamentar en su tolerancia a la presencia de materia orgánica, a la alta disponibilidad de alimento y posiblemente a la reducción de los depredadores y de los competidores naturales, así como también, su amplio rango de condiciones bajo las cuales son capaces de sobrevivir (al compararlos con cualquier otro grupo de insectos acuáticos) como un gradiente casi completo de temperatura, pH, salinidad, concentración de oxígeno, velocidad de la corriente, profundidad, productividad, altitud, latitud, entre otros factores (Reinoso *et al.* 2008). *Chironomus* pertenece a una de las familias (Chironomidae) mejor representadas por su abundancia y diversidad en los ambientes acuáticos continentales, constituyendo una franja importante en la ecología de la comunidad bentónica de la mayoría de los cuerpos de agua, además de su gran capacidad para tolerar ambientes enriquecidos de carga orgánica residual (Zúñiga *et al.* 1993), debido a sus mecanismos de respiración, los cuales poseen pigmentos respiratorios (hemoglobina disuelta en la hemolinfa) (Margalef, 1983). Resultados que concuerdan con los encontrados en este estudio son los reportados para diferentes cuencas evaluadas en estudios realizados por Mondragón, 2006; Bustamante *et al.*, 2008; y Mosquera *et al.* 2008 (CVC) en los ríos Tulúa y

Bugalagrande, en el río Quindío, y en el río Cali (CVC) respectivamente; en donde *Chironomus* fue el género más abundante en varias estaciones de muestreo que comparten ciertas características con el sitio de muestreo de este estudio, que en resumen son: disponibilidad de materia orgánica y alimento, reducción de los niveles de Oxígeno, descargas y residuos sólidos que tornan vulnerable el medio y por ende la disponibilidad de hábitat para otros grupos de organismos. Otro estudio en los que se informa de una situación similar a la época de muestreo (baja precipitación) es el efectuado por Ruíz y Rincón en 2000 en el río Villeta, en donde el orden díptera, estuvo representado por 14 familias, predominando la familia Chironomidae principalmente en épocas de baja precipitación y caudal.

La quebrada La Medina (sitio seis) se caracterizó por presentar dominio del género *Anacroneuria* (fotografía 4b). La abundancia de este fue debida a que el sitio presentó condiciones de corrientes rápidas, oligotróficas, frías y pedregosas donde hubo abundancia de sedimento, ramas y hojarasca, el material vegetal, arena y pequeñas piedras permiten la construcción de pequeños refugios y la fijación de sustrato estable (Tamaris *et al.* 2007); este género es indicador de buena calidad de agua, debido a su intolerancia a la deficiencia de Oxígeno, sin embargo se caracterizan por habitar zonas de contaminación antrópica, en la zona se notan las características ideales para la subsistencia tales como zonas turbulentas, con lechos de grava, la presencia de material vegetal permite el albergue de especies que se convierten en su alimento y pueden ser tanto herbívoras como carnívoras. (Zúñiga *et al.* 2001).



**Fotografía 4.** (a) *Chironomus* (Chironomidae); (b) *Anacroneuria* (Perlidae) (Fuente: Los autores, 2010)

Los organismos del género *Anacroneuria* emergen y se transforman en adultos a lo largo de todo el año y aunque no presentan estacionalidad en el proceso, se observan picos de emergencia en relación con las condiciones de pluviosidad regional. Esta situación es reportada por Zúñiga *et al.*, en 2003<sup>8</sup> para 4 especies en la zona andina occidental del

---

<sup>8</sup>ZÚÑIGA, M.; BALLESTEROS, Y. y GRISALES, M. Nocturnal emergence patterns of four species of *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) in a tropical interandean stream (Colombia, South America). 2003. p 13-14. Abstract Seventh North American Plecoptera Symposium. Colorado, USA. Citado por TAMARIS, *et al.* Distribución espacio-temporal y hábitos alimentarios de ninfas de *Anacroneuria*

Valle del Cauca, en cuyo caso, el incremento significativo de ninfas maduras y adultos capturados durante su proceso de emergencia y transformación en adultos, muestra una estrecha relación con la época de transición entre el período seco y la iniciación del lluvioso. (Tamaris *et al.* 2007).

El género *Tipula* (fotografía 5a) fue el más abundante en la quebrada Los Rastrojos (sitio nueve). Los organismos pertenecientes a esta familia se encontraron en áreas con presencia de material orgánico en descomposición, en aguas de corriente lenta y rápida en sustratos arenosos, fangosos, cerca de las orillas. Byers (1992)<sup>9</sup>, indica que el hábitat acuático más común de los Tipulidae consiste de lodo o fango con hojas podridas u otros fragmentos orgánicos en el margen de arroyos, charcas o en pantanos, los cojines de algas o briofitas, húmedos o saturados, que crecen en las rocas, el suelo o la madera podrida, márgenes arenoso de arroyos poco profundos y arenosos. La presencia de un disco espiracular como sistema respiratorio en dichos organismos, pudo facilitar su distribución en sitios con bajos niveles de Oxígeno disuelto, ya que estos organismos, permanecen en una interface entre el aire y el agua (Courtney *et al.*, 1996)<sup>10</sup>. Resultados similares a los de este estudio fueron encontrados a lo largo de toda la cuenca del Río Anamichú (Reinoso *et al.* 2008) en el departamento del Tolima, el género también exhibió una amplia distribución siendo la tercera familia de máxima abundancia relativa en la composición general del estudio.

El sitio ubicado sobre la quebrada El Rodeo (sitio diez) presentó abundancia del género *Macrothemis*. En este sitio predominaron los remansos, pozos poco profundos, abundante vegetación arbórea y hojarasca, corrientes lentas y sustratos con fondo arenoso y fangoso. Estas condiciones son ideales para el establecimiento del género según lo expuesto por Roldan en 1996 quien afirma que las especies perteneciente a la familia *Libellulidae* habitan en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas; por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuáticas sumergida o emergente; con aguas limpias o ligeramente eutrofizadas. La presencia de odonatos en cuerpos de agua puede afirmarse es de común ocurrencia y al igual que otros macroinvertebrados su abundancia depende de las condiciones climáticas, régimen pluviométrico y disponibilidad de alimento. Las ninfas de *Macrothemis* son cazadores activos, se alimentan de larvas de otros insectos, pequeños crustáceos, renacuajos y hasta pequeños peces. La suma de estos factores explicaría el por qué de la abundancia de este género en el sitio. En Colombia Posada *et al.*, en el 2000, hallaron 13 especies de las familias *Libellulidae*, entre ellos *Macrothemis* en condiciones similares a las de este estudio.

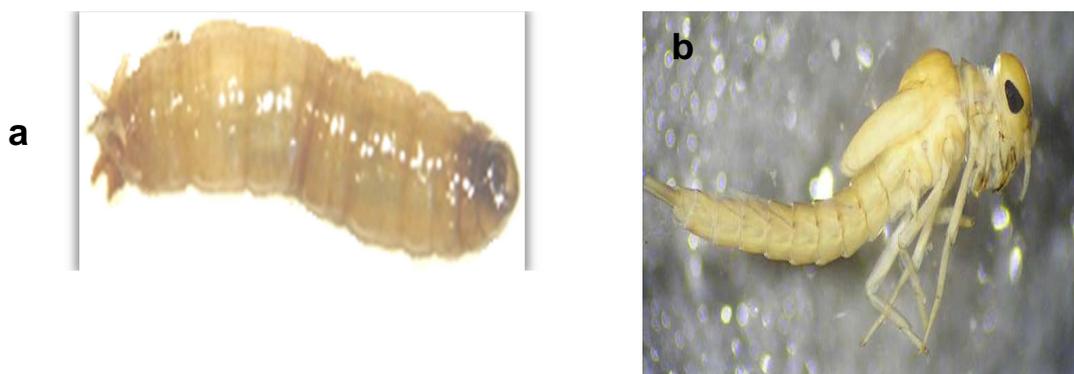
---

(insecta: plecoptera: perlidae) en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). *En*: Caldasia. 2007, vol. 29, no. 2, p. 382

<sup>9</sup>BYERS, G., y ALEXANDER, C. Tipulidae. Editado por J.F McAlpine. *En*: Manual of Nearctic Diptera Agriculture Canada, Ottawa. 1981, p. 153–190, citado por REINOSO *et al.* Biodiversidad Faunística y Florística de la cuenca mayor del río Saldaña (subcuenca Anamichú) - Biodiversidad Regional Fase IV. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. p. 94

<sup>10</sup>COURTNEY, G.; MERRIT, R.; TESKEY, H., y FOOTE, B. Dípteros Acuáticos. *En*: MERRIT, R. y CUMMINS, K. Introducción a los Insectos Acuáticos de Norte América. 3 ed. United States of America: Kendall/Hunt Publishing Company, 1996. 862 p. ISBN 0-7872-3240-8 citado *Ibíd.*

El sitio sobre el río San Jorge en el sector Capellanías (sitio once) presentó abundancia del género *Baetidae* (fotografía 5b), este sector por estar ubicado en la parte más baja de la zona estudiada genera condiciones poco ideales para el establecimiento de comunidades de macroinvertebrados, específicamente este sitio presentó aguas con alta temperatura debido a la poca sombra provista por la vegetación arbórea, caudal mediano, pozos medianamente profundos, sustratos de fondo pedregosos y arenosos, ausencia de hojarasca y desarrollo de una fuerte actividad de extracción de material de río, llámese arena y gravas. El género *Baetidae* se caracteriza por habitar en aguas que tengan buena oxigenación, se hallan adheridos a rocas grandes expuestas a altas velocidades de corriente (rápidos) donde el Oxígeno disuelto es alto; permitiendo que las aguas estén de muy buena a mediana calidad, con productividad meso a eutrófica (Reinoso *et al.* 2008). Su abundancia en este sitio se debe a que es una zona caudalosa en la que la temperatura del agua es menor en lo profundo, lo cual favorece su ciclo de vida y se distinguen por permanecer en su estadio de ninfa cerca a macrófitos acuáticos. Su alimentación se basa en raspar las algas y detritos finos de rocas sumergidas, maderas y macrófitas. Su ciclo de vida permite que haya eclosiones durante varios meses al año, llegando a resistir periodos de baja precipitación y caudal, además de cierta tolerancia a cambios de temperatura, turbidez y contaminación leve, situación observable en la zona de muestreo a considerar (Bustamante *et al.* 2008).



**Fotografía 5.** (a) Larva de *Típula* (*Tipulidae*); (b) *Sp.1 Baetidae* (*Baetidae*) Fuente: Los autores, 2010.

### 6.3 ÍNDICES DE CALIDAD BIOLÓGICA

**6.3.1 Índice de Monitoreo Biológico BMWP.** A partir de la información obtenida de las familias de los MAE, se calculó el índice de monitoreo biológico BMWP para evaluar la calidad del agua en cada uno de los sitios (Cuadro 10, figura 9). Los resultados muestran que el sitio sobre el río Sánchez presentó una clasificación BUENA catalogándolo como el sitio con mejor calidad de agua, las quebradas La Cumbre (Cementerio), Rancherías (Tambores) y el río Blanco presentaron una calidad de agua ACEPTABLE, mientras que los sitios sobre el río San Jorge obtuvieron la

peor clasificación del estudio, CRÍTICA. Para el resto de los sitios la clasificación fue DUDOSA todo esto de acuerdo a los valores de BMWP adaptados para Colombia (Zamora H., 1999).

En relación con el índice BMWP, se puede caracterizar el agua en el sitio sobre el río Sánchez como AGUAS LIMPIAS, esto debido a que (basados en los parámetros fisicoquímicos determinados) no hay contaminación por materia orgánica o es baja, además existe un alto contenido de Oxígeno disuelto que permite una alta oxidación de sustancias contaminantes (principalmente materia orgánica), asegura la supervivencia de microorganismos aerobios (incluidos coliformes), limita la supervivencia de los anaerobios (principales productores de sustancias y gases tóxicos). Todo esto permite que los organismos presentes en el medio toleren el rango de variación de contaminación, además la temperatura y el pH del agua es óptima para su metabolismo ya que aumentan las reacciones enzimáticas y las tasas de producción por lo que se presenta una explosión reproductiva de las especies más depuradoras (filtradores, colectores, raspadores) en esta época del año.

Las aguas sobre los sitios en las quebradas La Cumbre (Cementerio), Rancherías (Tambores) y el río Blanco mostraron características de AGUAS LIGERAMENTE CONTAMINADAS, esta condición causada posiblemente por bajos caudales asociados con baja saturación de Oxígeno disuelto, alta mineralización (alta conductividad y/o dureza; factores limitantes para la vida de muchas especies por sometimiento a presiones osmóticas) y niveles medios de contaminación por sólidos disueltos o turbiedad (impide el paso de luz solar, daña el sistema respiratorio de especies acuáticas) producida por efectos edafológicos (para la quebradas).

**Cuadro 10.** Calidad del agua en cada sitio de acuerdo al índice de monitoreo biológico BMWP (Zamora H., 2007).

Sitio	BMWP	Calidad
Río Sánchez	124	Buena
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	76	Aceptable
Quebrada Rancherías (Tambores)	97	Aceptable
Río Blanco	97	Aceptable
Río San Jorge (La Playa)	35	Crítica
Quebrada El Guadual	49	Dudosa
Quebrada La Medina	59	Dudosa
Quebrada Mata de Puro	60	Dudosa
Quebrada Los Rastrojos	42	Dudosa
Quebrada El Rodeo	48	Dudosa
Río San Jorge (Capellanías)	26	Crítica

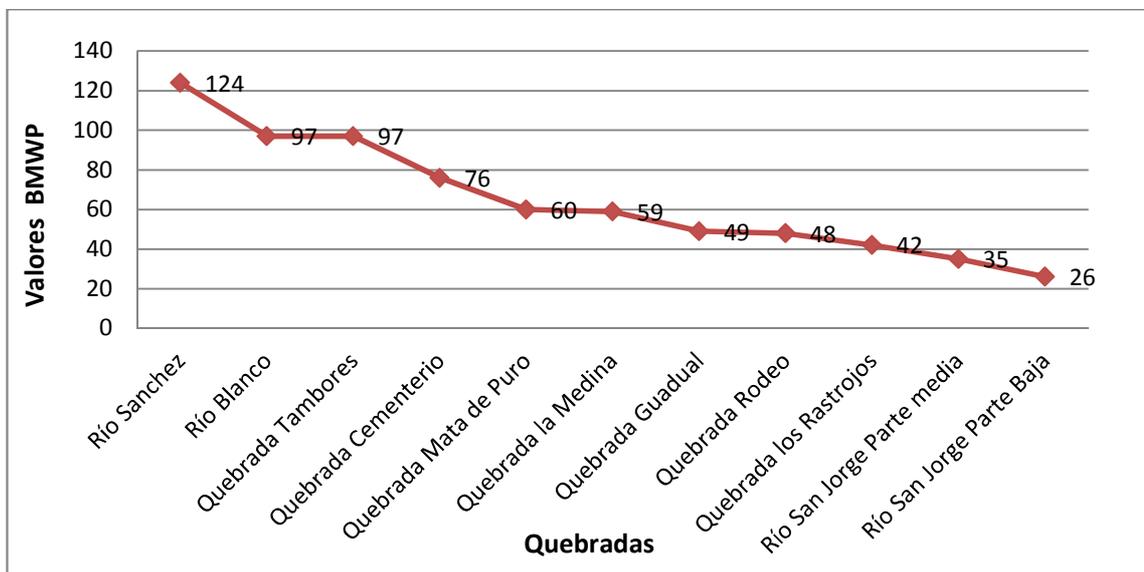
En el sitio sobre el río Blanco las condiciones fisicoquímicas no evidencian algún tipo de contaminación, solamente se registran alteraciones en la calidad microbiológica (alto contenido de coliformes totales, por contaminación doméstica) esto podría sugerir la desaparición de especies eslabones en la trama alimenticia, lo que trae como consecuencia el aumento de algunas poblaciones, bien sea por falta de

depredadores, por la disponibilidad de más alimento o por una combinación de ambos. El resultado final es una simplificación de las comunidades, con un aumento de individuos en las poblaciones que han tenido la capacidad de adaptarse o sobrevivir a las nuevas condiciones (Roldan y Ramírez, 2008).

Finalmente los demás sitios mostraron características de AGUAS CONTAMINADAS (Quebradas El Guadual, La Medina, Mata de Puro, Los Rastrojos, Quebrada El Rodeo) y AGUAS MUY CONTAMINADAS (sitios de muestreo sobre el río San Jorge). Estas características asociadas a eventos similares a los expuestos para los sitios con aguas ligeramente contaminadas pero mucho más intensos.

**6.3.2 Índice de Diversidad de Shannon (H').** Para los macroinvertebrados colectados en los 11 sitios muestreados, se calculó el índice de Shannon (H') y se evaluó el comportamiento de la diversidad de los géneros encontrados en cada uno de los sitios de muestreo (cuadro 11). Los resultados indican que 7 de los 11 sitios de muestreo presentan puntajes entre 1,62 y 2,6, lo que sugiere según su clasificación (entre 1,6 y 3,0) mediana diversidad y mediana contaminación, indicando que la comunidad no está siendo afectada por tensores ambientales diferentes a los de origen natural.

**Figura 9.** Calidad biológica de los sitios según el BMWP (Zamora H., 2007).



La menor diversidad se presentó en los sitios sobre las quebradas El Guadual, La Medina y el río San Jorge en los dos sectores respectivamente. La menor diversidad con valores entre 0,97 y 1,54 sugiere según su clasificación (entre 0 y 1,5), muy baja diversidad y aguas contaminadas (Zamora, 1999). La variación de diversidad observada obedece en primera instancia a la dinámica fluvial de la subcuenca, es

decir a los cambios geomorfológicos y fisicoquímicos que presenta la cuenca desde sus orígenes, lo que trae como consecuencias el establecimiento de comunidades específicas adaptadas a cada hábitat particular. Las corrientes en las partes más altas (riachuelos) son aguas claras, de poco caudal y corren por lechos tortuosos, son pobres en nutrientes, de baja conductividad y productividad primaria. Conforme descienden se generan quebradas en las que el Oxígeno disuelto es alto por formación de caídas y cascadas, hay incremento de hábitats así como de sólidos suspendidos, nutrientes, conductividad y de productividad. Finalmente hacia el valle se forman los ríos en los cuales la temperatura se ha incrementado entre 8 y 10 °C con respecto a las partes altas, el Oxígeno disuelto ha disminuido (lo que implica la disminución de procesos metabólicos y de oxidación), el lecho es más profundo, el agua es más lenta, los sólidos suspendidos, la conductividad, los nutrientes, la turbiedad y la productividad primaria aumentan (impiden el paso de luz solar, daña sistema respiratorio de especies acuáticas). Este cambio sucesional tiene un efecto sobre la diversidad de las comunidades acuáticas en cuanto que la disminuye conforme avanza desde las partes más altas a las más bajas (Roldan y Ramírez, 2008). Entre otras razones se encuentra que debido a la falta de repeticiones de muestreo en el espacio y el tiempo, el cálculo de la diversidad se esté viendo afectado.

**Cuadro 11.** Diversidad biológica de los sitios según índice de Shannon-Weaver.

Sitio	Shannon-Weaver (H')	Calidad
Río Sánchez	2,63	Mediana diversidad
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	2,06	Mediana diversidad
Quebrada Rancherías (Tambores)	1,91	Mediana diversidad
Río Blanco	2,14	Mediana diversidad
Río San Jorge (La Playa)	1,05	Muy Baja Diversidad
Quebrada El Guadual	1,54	Muy Baja Diversidad
Quebrada La Medina	1,45	Muy Baja Diversidad
Quebrada Mata de Puro	1,88	Mediana diversidad
Quebrada Los Rastrojos	1,62	Mediana diversidad
Quebrada El Rodeo	1,77	Mediana diversidad
Río San Jorge (Capellanías)	0,97	Muy Baja Diversidad

**6.3.3 Índice de dominancia de Simpson.** Teniendo en cuenta los macroinvertebrados colectados en los 11 sitios muestreados, se calculó el índice de diversidad (dominancia) de Simpson (D) para evaluar el comportamiento de la diversidad y la dominancia de los géneros encontrados en cada uno de los sitios de muestreo. Los resultados indican que el río Sánchez, la quebrada La Cumbre (Cementerio), el río Blanco y la quebrada Mata de Puro en su orden son los sitios que registraron mayor número de géneros y son sitios con comunidades diversas, dominantes y por lo tanto menos equitativas en comparación con los otros sitios, mientras que los sitios sobre el río San Jorge presentaron las menores riquezas y son sitios con comunidades menos diversas (en rojo), pero dominantes y por lo tanto menos equitativas (cuadro 12).

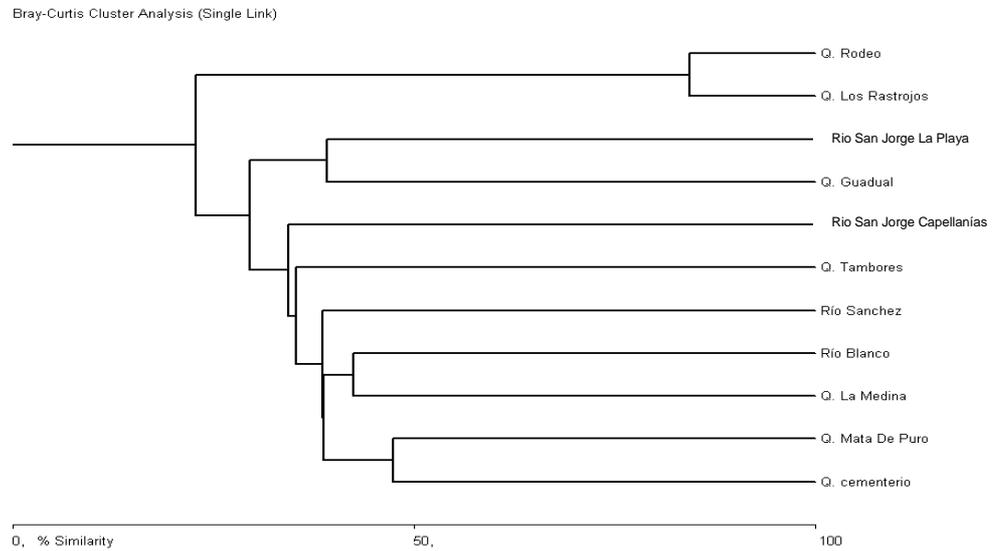
**Cuadro 12.** Índices de Simpson (D, 1/D) obtenidos para cada sitio.

Sitio	Riqueza numérica	Diversidad Simpson (Dominancia) (D)	Diversidad Simpson (1/D)
Río Sánchez	233	0,082	12,186
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	135	0,149	6,695
Quebrada Rancherías (Tambores)	41	0,151	6,613
Río Blanco	103	0,125	7,995
Río San Jorge (La Playa)	51	0,326	3,065
Quebrada El Guadual	72	0,249	4,013
Quebrada La Medina	57	0,281	3,563
Quebrada Mata de Puro	107	0,166	6,039
Quebrada Los Rastrojos	27	0,191	5,239
Quebrada El Rodeo	37	0,168	5,946
Río San Jorge (Capellanías)	20	0,426	2,346

**6.3.4 Índice de Disimilitud/ Similitud de Bray Curtis.** El Coeficiente de Bray-Curtis, permitió comparar las poblaciones de distintos ecosistemas o de un mismo ecosistema en diferentes momentos. Cuanto más próximo a 100 sea el valor obtenido, más similares serán las poblaciones. Para su cálculo se utilizó el programa BioDiversity Pro 2.0. Según este índice el mayor grado de similitud de géneros colectados entre zonas se presentó en las quebradas El Rodeo y Los Rastrojos con un porcentaje de similaridad de 84,4% (figura 10, cuadro 13), mientras que el Río San Jorge sector La Playa y la quebrada La Medina presentaron ausencia de similitud, demostrando que el establecimiento de los géneros en cada sitio son diferentes y no comparten algún género. El porcentaje de similaridad obtenido para las quebradas El Rodeo y Los Rastrojos se debe a que son sitios con sistemas de producción, topografía y de dinámica fluvial similares, aunque las mediciones de sus parámetros fisicoquímicos no lo sean (esto posiblemente por se realizó un muestreo puntual en días y horas diferentes).

**6.3.5 Correlación entre índices de diversidad Shannon-Weaver, Simpson y BMWP adaptado para Colombia.** Para determinar el grado de relación de los índices determinados se utilizó la correlación de Pearson, la cual es un índice que mide la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas y es independiente de la escala de medida de las variables. Los cuadros 14 y 15 muestran un resumen de los índices determinados y la correlación entre ellos respectivamente. Como se observa en el cuadro 15 la correlación entre los índices Shannon-Weaver, BMWP y la diversidad de Simpson expresada como 1/D es positiva y significativa, lo que implica que existe una alta dependencia entre las variables o relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante. Lo anterior muestra que los valores de los índices en los sitios muestran la misma tendencia (figura 11).

**Figura 10.** Dendrograma de Bray-Curtis entre sitios de muestreo.



**Cuadro 13.** Resumen del índice de similaridad de Bray Curtis por zonas de muestreo.

Sitio	Río Sánchez	Quebrada La Cumbre. (Cementerio)	Quebrada Rancherías. (Tambores)	Río Blanco	Río San Jorge (La Playa)	Quebrada El Guadual	Quebrada La Medina	Quebrada Mata De Puro	Quebrada Los Rastrojos	Quebrada El Rodeo	Río San Jorge (Capellanías)
Río Sánchez		38,8	17,5	26,2	15,0	29,5	15,8	30,6	6,9	8,9	8,4
Quebrada La Cumbre. (Cementerio)			35,3	38,7	9,4	19,9	16,1	47,5	11,5	22,9	14,4
Quebrada Rancherías. (Tambores)				22,2	22,9	21,2	10,2	22,9	17,6	15,4	34,4
Río Blanco					11,4	11,4	42,5	29,5	9,2	8,6	15,5
Río San Jorge (La Playa)						39,1	0	9,4	21,3	17,5	19,4
Quebrada El Guadual							3,10	24,6	14,1	12,8	11,3
Quebrada La Medina								23,2	2,4	2,1	5,5
Quebrada Mata De Puro									20,9	19,4	28,9
Quebrada Los Rastrojos										84,4	12,7
Quebrada El Rodeo											11,2
Río San Jorge (Capellanías)											

**Cuadro 14.** Valores de los Índices obtenidos para cada sitio.

Sitio	Shannon-Weaver (H')	BMWP	Diversidad Simpson (Dominancia)	Diversidad Simpson (1/D)

			(D)	
Río Sánchez	2,63	124	0,082	12,186
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	2,06	76	0,149	6,695
Quebrada Rancherías (Tambores)	1,91	97	0,151	6,613
Río Blanco	2,14	97	0,125	7,995
Río San Jorge (La Playa)	1,05	35	0,326	3,065
Quebrada El Guadual	1,54	49	0,249	4,013
Quebrada La Medina	1,45	59	0,281	3,563
Quebrada Mata de Puro	1,88	60	0,166	6,039
Quebrada Los Rastrojos	1,62	42	0,191	5,239
Quebrada El Rodeo	1,77	48	0,168	5,946
Río San Jorge (Capellanías)	0,97	26	0,426	2,346

**Cuadro 15.** Correlación de Pearson de los índices de calidad y diversidad determinados.

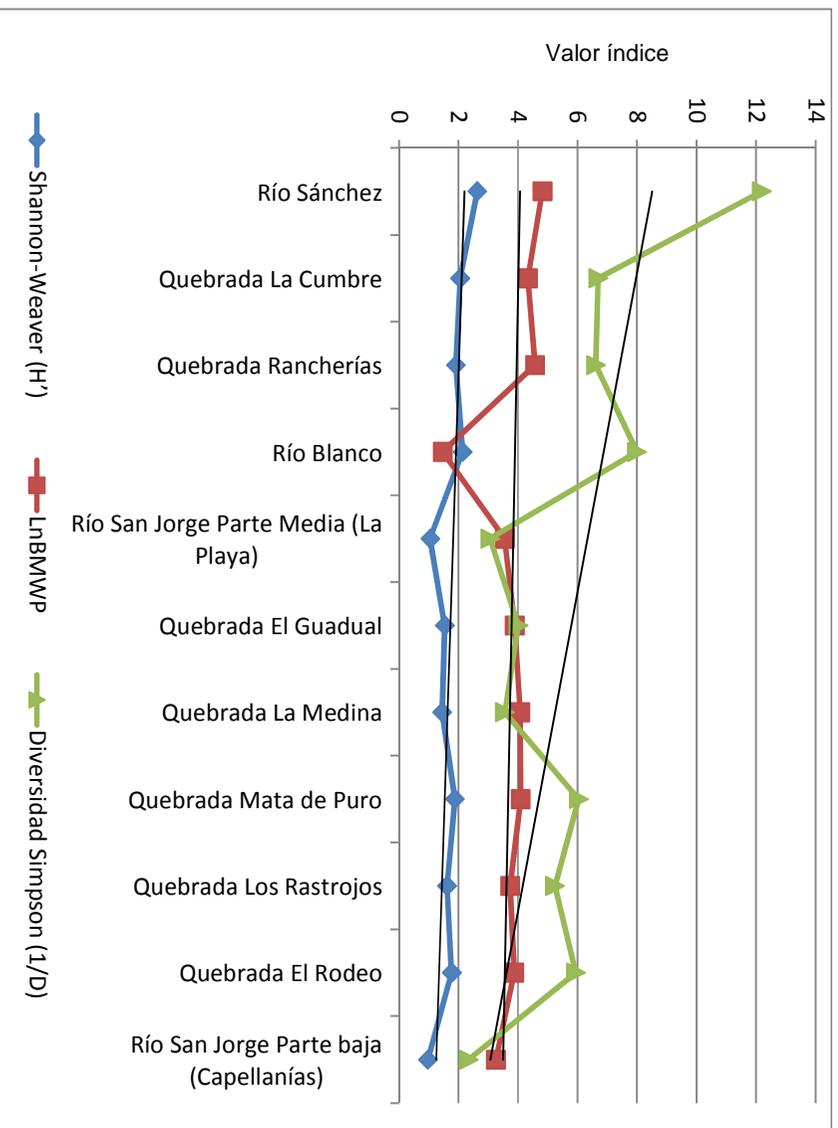
		Shannon-Weaver (H')	BMWP	Simpson (1/D)
<b>Shannon-Weaver (H')</b>	Correlación de Pearson	1	0,902(**)	0,960(**)
	Sig. (bilateral)	.	0,000	0,000
	N	11	11	11
<b>BMWP</b>	Correlación de Pearson	0,902(**)	1	0,903(**)
	Sig. (bilateral)	0,000	.	0,000
	N	11	11	11
<b>Simpson (1/D)</b>	Correlación de Pearson	0,960(**)	0,903(**)	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000	.
	N	11	11	11

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

## 6.4 CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA

Los resultados de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos, realizadas *in situ* y en el laboratorio de la CRC se muestran en el cuadro 16.

**6.4.1 Índice de calidad del agua NSF.** El índice NSF para cada sitio o punto de muestreo fue calculado mediante el programa ICATEST v1.0 diseñado por Fernández *et al.* 2005, en la Universidad de Pamplona en 2005. Los resultados obtenidos para cada sitio se observan en el cuadro 17, además las figuras 12 a 19 muestran cada parámetro frente a su valor Q para cada sitio. El índice NSF clasifica los sitios sobre los ríos Sánchez y Blanco, y las quebradas La Cumbre (Cementerio), Rancherías (Tambores), El Guadual, Mata de Puro, Los Rastrojos y El Rodeo como sitios con agua de BUENA calidad, lo que sugiere un bajo nivel de estrés hídrico y un buen nivel de calidad fisicoquímica del recurso. Además se encuentra que sitios tales como los ubicados sobre el río San Jorge en el sector Capellanías y la quebrada La Medina se clasifican como sitios con agua de MEDIANA calidad, sugiriendo que se presenta un nivel medio de estrés hídrico y un nivel medio de calidad fisicoquímica del recurso.



**Figura 11.** Tendencia de los índices a través de los sitios.

**Cuadro 16.** Valores determinados de los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo.

Parámetro	Unidad	Rio Sánchez	Quebrada La Cumbre (Cementerío)	Quebrada Rancherías (Tambores)	Rio Blanco	Rio San Jorge (La Playa)	Quebrada El Guadual	Quebrada La Medina	Quebrada Mata de Puro	Quebrada Los Rastrojos	Quebrada El Rodeo	Rio San Jorge (Capellanías)	Promedio	Desviación estándar
Turbidez	UNT	7,3	9,3	5,4	20,7	3,7	6,1	2,1	20,9	7,2	2,2	15,8	9,15	6,88
Temperatura ambiente	°C	28,2	28,5	26,3	27,3	36	32	30	24	28	27	40	29,75	4,63
Temperatura del agua	°C	20,9	20,5	18	20	29,3	26,4	23	17,6	21,6	18,2	34,7	22,75	5,35
pH	UND	7,94	7,93	8,04	7,94	8,22	8,12	7,86	7,79	8,22	8,02	8,37	8,01	
Dureza total	mg/L-CaCO <sub>3</sub>	15,0	79,6	34,1	21,4	43,2	66,5	40,4	27,7	91,6	15	66,5	45,55	26,63
Conductividad	µmho/cm	60,7	213	105	64,8	69,9	234	167	92,1	274	55,1	116	131,96	77,65
Nitritos	mg/L-N	0,02	0,02	0,02	0,02	0,12	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,2	0,05	0,06
Nitratos	mg/L	0,4	0,1	0,59	0,4	1,28	0,48	0,99	0,4	0,5	0,75	2,9	0,80	0,77
Oxígeno disuelto	mg/L-O <sub>2</sub>	10,2	5,9	6,2	7,69	5,03	5,56	5	6	5,5	6,3	4,5	6,17	1,58
Saturación de oxígeno	%	107,9	65	68	88,5	67,4	79,8	61	65	61	69	75,5	73,46	14,13
DBO	mg/L-O <sub>2</sub>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50	0,00
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	2	2	2,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2,05	0,15
STD	mg/L CaCO <sub>3</sub>	49,8	175	86	53,2	57,4	192	136,6	75,5	225	45,2	95,2	108,26	63,76
Coliformes totales	NMP/100mL	>2419	>2419	>2419	>2419	>2419	>2419	>2419	>613	>2419	>613	>2419		
Coliformes fecales	NMP/100mL	59,2	66,3	12,2	67,7	258,1	178,9	461,1	16,9	4,1	32,9	1000	234,18	322,17

**Cuadro 17.** Clasificación del índice NSF para cada sitio de muestreo.

Sitio	Valor del índice	Rango	Clasificación
Río Sánchez	79,48	71-90	Buena
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	72,07	71-90	Buena
Quebrada Rancherías (Tambores)	77,25	71-90	Buena
Río Blanco	76,75	71-90	Buena
Río San Jorge (La Playa)	71,92	71-90	Buena
Quebrada El Guadual	75,22	71-90	Buena
Quebrada La Medina	70,03	51-70	Media
Quebrada Mata de Puro	75,56	71-90	Buena
Quebrada Los Rastrojos	76,01	71-90	Buena
Quebrada El Rodeo	76,58	71-90	Buena
Río San Jorge (Capellanías)	69,16	51-70	Media

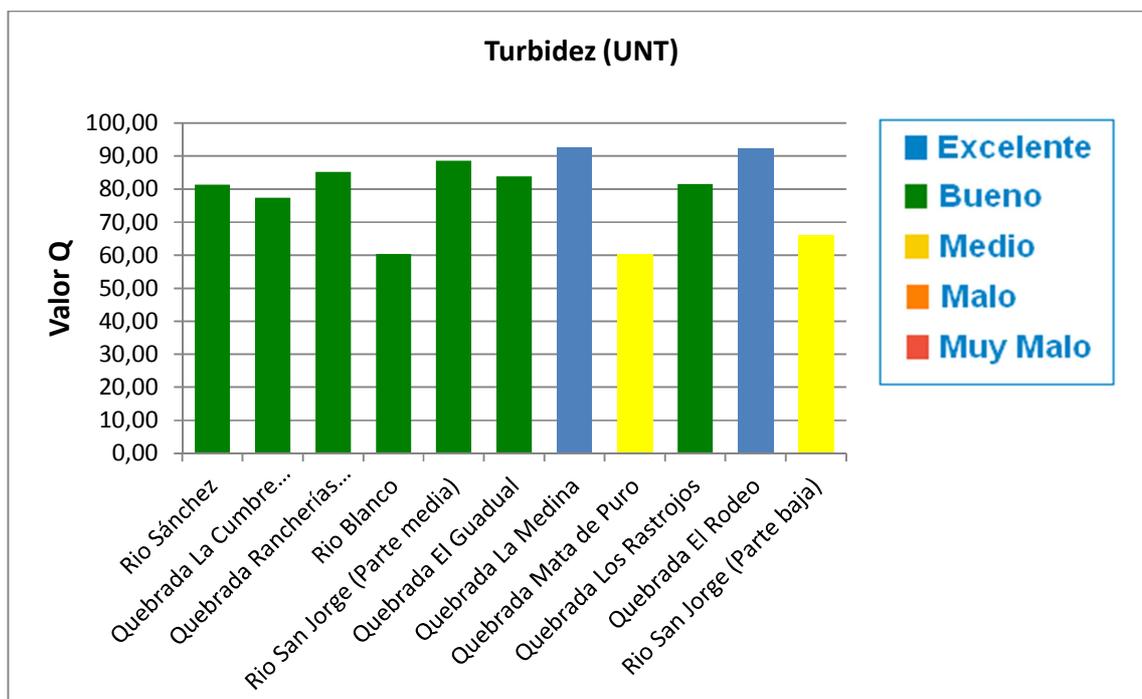
**6.4.1.1 Turbidez.** Como se observa la figura 12 la clasificación del índice NSF para turbidez de la mayoría de los sitios fue BUENA (EXCELENTE para La Medina y El Rodeo) mientras que para los sitios sobre el río San Jorge en Capellanías, el río Blanco y la quebrada Mata de Puro fue MEDIA. Dentro de las causas que podrían estar ocasionando esta clasificación de turbidez para estos últimos sitios, se encuentra que presentan en sus cercanías actividad minera como extracción a cielo abierto: La explotación es realizada de manera esporádica, y el material rocoso es utilizado como material de afirmado y para el arreglo de la vía. Además se caracterizan por ser zonas de amenaza alta o media por remoción en masa ya que se que presentan procesos de remoción en masa activos. Entre otras presentan cultivos tales como yuca (menos el sitio sobre el río Blanco) y coca que por ser cultivos limpios y al estar establecidos en terrenos ondulados con pendientes superiores del 20% aceleran los procesos erosivos y deterioro de la capa arable (POMCH, 2010). En estos sitios los niveles medios de turbidez pueden impedir el paso de luz solar y/o dañar el sistema respiratorio de especies acuáticas (Roldán, 2003).

Por otra parte teniendo en cuenta el cuadro 5 (página 23 de este documento), el cual contiene los criterios de calidad de agua según Decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 para parámetros fisicoquímicos en Colombia, puede observarse que el parámetro turbidez se encuentran fuera de los rangos establecidos por el decreto 475 para calidad de agua por lo que sería necesario aplicar un tratamiento para la reducción de la turbidez, igualmente supera los rangos del decreto 1594 (uso del recurso) para preservación de flora y fauna ,lo que no haría posible su uso para esta actividad.

**6.4.1.2 Temperatura.** De acuerdo al cuadro 16 y a la figura13, la temperatura según el índice NSF fue un parámetro con clasificación MEDIA para todos los sitios, estos valores de temperatura o diferencia de temperatura (entre la temperatura del ambiente y la temperatura del agua) son debidos a la época del año (finales de octubre y comienzos de noviembre de 2009), hora de muestreo (entre 9:00 am y 4:00 pm), las condiciones climáticas (temporada de baja precipitación ocasionada muy posiblemente por el fenómeno del niño), por la cantidad de energía calórica (ondas del infrarrojo) que es absorbida por cada cuerpo de agua (Roldan y Ramírez, 2008), altura

sobre el nivel del mar y procesos del régimen fluvial, entre ellos el caudal que contribuye a la disipación del calor rápida o lentamente.

**Figura 12.** Clasificación de la turbidez según el índice NSF en los sitios.



Los sitios que presentaron los valores más altos de temperatura (tanto del agua como del aire) fueron los ubicados sobre el rio San Jorge, esto debido (además de todas las causas mencionadas anteriormente) a que fueron los únicos lugares con muy poca vegetación arbustiva o arbórea en sus riberas, lo que permite una mayor exposición de las aguas a la luz solar. Por otro los sitios con temperaturas más bajas como son las quebradas Rancherías (Tambores) y Mata de Puro, al contrario que los sitios sobre el rio San Jorge presentaron una gran vegetación riparia sobre sus riberas lo que les proveyó una mayor sombra.

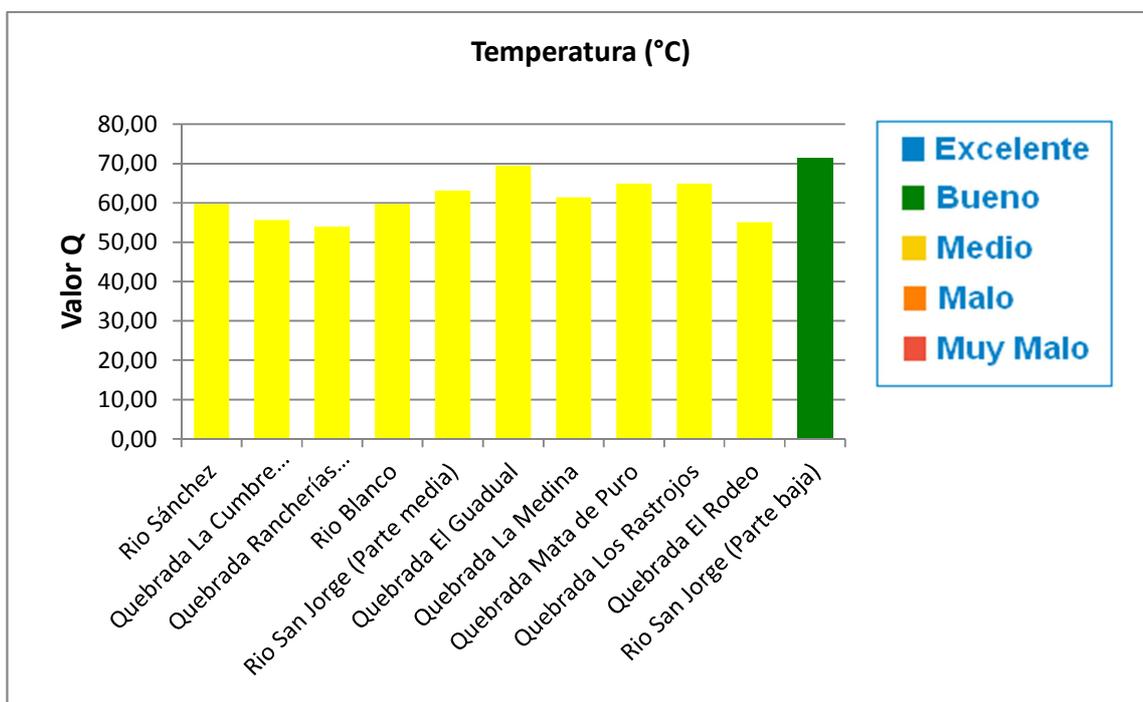
La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de Oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas.

Algunos de los efectos que podrían estarse presentando en los sitios debido al incremento de la temperatura son: disminución del Oxígeno disuelto por difusión hacia el aire (Posada *et al.* 2000), proliferación de plantas acuáticas y microorganismos debido a que aumentan también sus reacciones enzimáticas y las tasas de reproducción (Hahn-vonHessberg *et al.* 2009), incremento de la evapotranspiración y la mineralización de los suelos lo que conlleva a una disminución del flujo de materia orgánica (García *et al.* 2007), y en menor medida podría darse un incremento de la

mortalidad de la vida acuática ya que la sobrevivencia en aguas con temperatura por encima de 40 °C va a depender de la regulación de la temperatura corporal interna del organismo y al periodo de exposición (Posada *et al.* 2000).

Dentro del marco de los criterios de calidad de agua según Decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 todos los sitios presentan temperaturas inferiores a 40 °C por lo que su calidad es aceptable con respecto a este parámetro, asimismo es permitido su uso para cualquier actividad.

**Figura 13.** Clasificación de la temperatura según el índice NSF en los sitios.

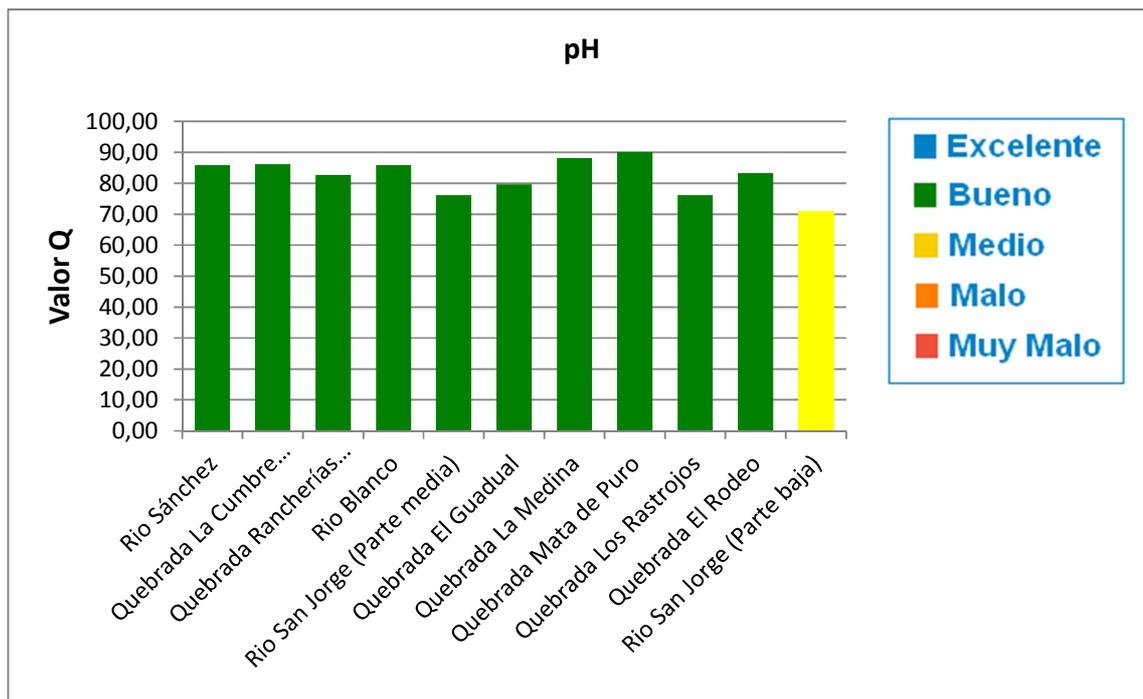


**6.4.1.3 pH.** Como se observa en las figura 14, la clasificación del índice NSF para el rio San Jorge en el sector Capellanía es MEDIA, mientras que para los demás sitios fue BUENA. El pH para este estudio presento tendencia por encima de la neutralidad lo que se considera normal para aguas naturales del neotrópico (Roldan y Ramírez, 2008). Esta tendencia puede explicarse gracias a la dependencia del pH con la temperatura. La alta temperatura del agua en los sitios genera la difusión de gases como el Oxígeno y el dióxido de Carbono hacia el aire, y es la salida de este último -quien funciona como buffer y evita cambios drásticos de pH- lo que permite el aumento de los iones bicarbonato y carbonato seguido de un aumento del pH (Roldan, 2003).

Otro factor que puede estar contribuyendo a la obtención de los valores de pH observados es el de los suelos de las zonas, los cuales gracias a sus bajos contenidos de materia orgánica y alta saturación de bases (entre otros) son neutros o

casi neutros en su mayoría con pH entre 6,5 y 7, y que por efectos de drenado, escorrentía y erosión proporcionan neutralidad a las aguas cercanas. Según los Decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 la calidad del agua y el uso de las aguas para diferentes propósitos es aceptable y viable (ver cuadro 5).

**Figura 14.** Clasificación del pH según el índice NSF en los sitios.



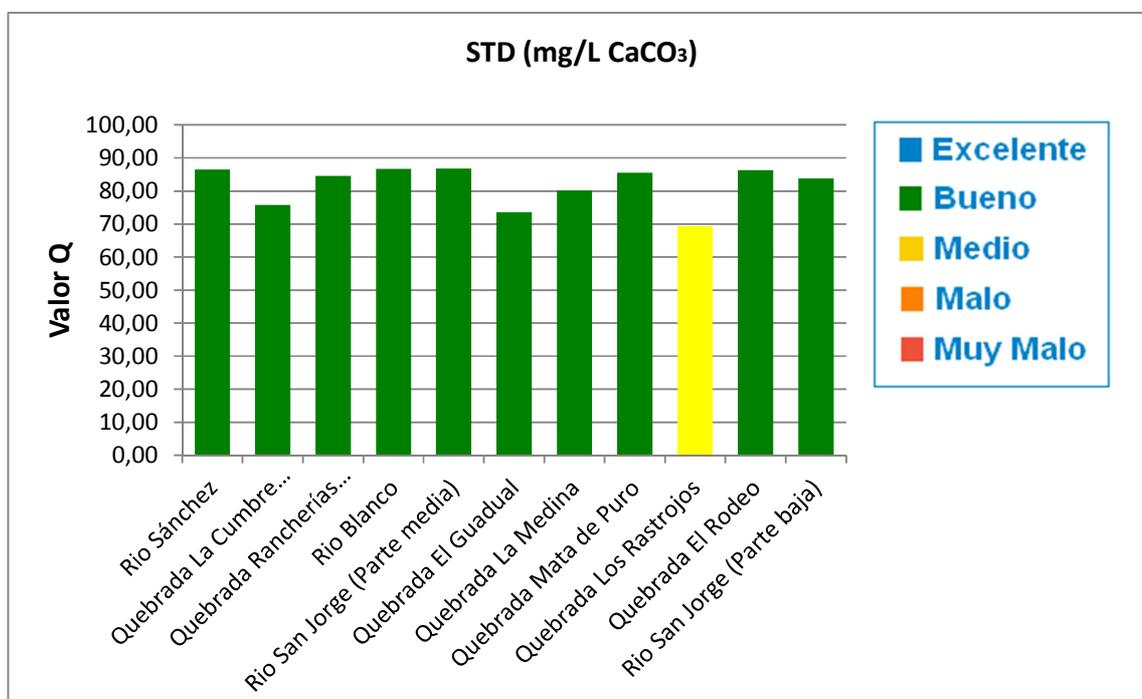
**6.4.1.4. Dureza total.** Se registraron los valores más bajos para los sitios sobre los ríos Sánchez, Blanco y la quebrada Mata de Puro, mientras que los valores más altos se presentaron en las quebradas La Cumbre (Cementerio) y Los Rastrojos (ver cuadro 16). La alta dureza observada en las quebradas La Cumbre (Cementerio) y Los Rastrojos puede explicarse gracias a que este parámetro está muy relacionado con áreas donde la capa superficial del suelo sea gruesa, presente formaciones de piedra caliza (óxidos de Calcio), y donde además el contenido de Calcio y Magnesio sea capaz de disolverse con agua de lluvia y pueda escurrirse hasta las fuentes de agua. Las zonas circundantes de ambas quebradas cumplen las condiciones para generar aguas duras debido a que estos sitios tienen suelos derivados de aluvios constituidos por fragmentos gruesos (arenas, gravillas y cascajos), y alta saturación de bases, Rastrojos específicamente tiene alto contenido de Calcio (POMCH, 2010).

Los valores observados para los sitios muestreados no representan ningún problema para su uso y su calidad se considera aceptable (además de que las aguas se consideran muy productivas (Roldan y Ramírez, 2008) ya que solo por encima de 160

mgCaCO<sub>3</sub>/L según el decreto 475 de 1998 se considera perceptible por organismos y perjudicial para tuberías entre otros (ver cuadro 5).

**6.4.1.5 Conductividad y sólidos disueltos totales.** De acuerdo al cuadro 16 los sitios con las conductividades y los SDT más altos fueron las quebradas La Cumbre (Cementerio) y Los Rastrojos, mientras que los valores más bajos estuvieron en la quebrada El Rodeo y el sitio sobre el río Blanco. El rango de valores de conductividad y SDT (y la clasificación del índice NSF para este último, figura 15) determinados para los sitios están relacionados con la naturaleza geoquímica del terreno y su concentración varía principalmente por la época del año (sequía) y con su estado trófico. Debido a que no se observa una relación directa de la conductividad con la temperatura del agua, ni efectos provocados por pH extremos, puede asumirse entonces que los valores más elevados observados se deben a efectos de la erosión del cauce, al arrastre de sedimentos, al aumento de la actividad agrícola de la zona y a una posible contaminación doméstica por mal manejo de residuos (POMCH, 2010). Con respecto a la calidad del agua en cada sitio, se tiene que según el criterio de calidad 475 de 1998 los valores se encuentran dentro del rango y pueden considerarse aguas de calidad aceptable. Por otra parte, teniendo en cuenta la estrecha relación y la equivalencia entre la conductividad, los sólidos disueltos totales y la salinidad (ver cuadro 17), ésta última puede ser letal para algunos organismos debido a efectos osmóticos provocados por la concentración total de sales en el agua.

**Figura 15.** Clasificación de los SDT según el índice NSF en los sitios.



**Cuadro 18.** Relación conductividad/salinidad de los sitios.

Sitio	Conductividad ( $\mu\text{mho/cm}$ )	Salinidad (ppm NaCl)*
Río Sánchez	60,7	28,6
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	213	100,5
Quebrada Rancherías (Tambores)	105	49,5
Río Blanco	64,8	30,5
Río San Jorge (La Playa)	69,9	33
Quebrada El Guadual	234	110,4
Quebrada La Medina	167	79,8
Quebrada Mata de Puro	92,1	43,4
Quebrada Los Rastrojos	274	129,2
Quebrada El Rodeo	55,1	26
Río San Jorge (Capellanías)	116	54,7

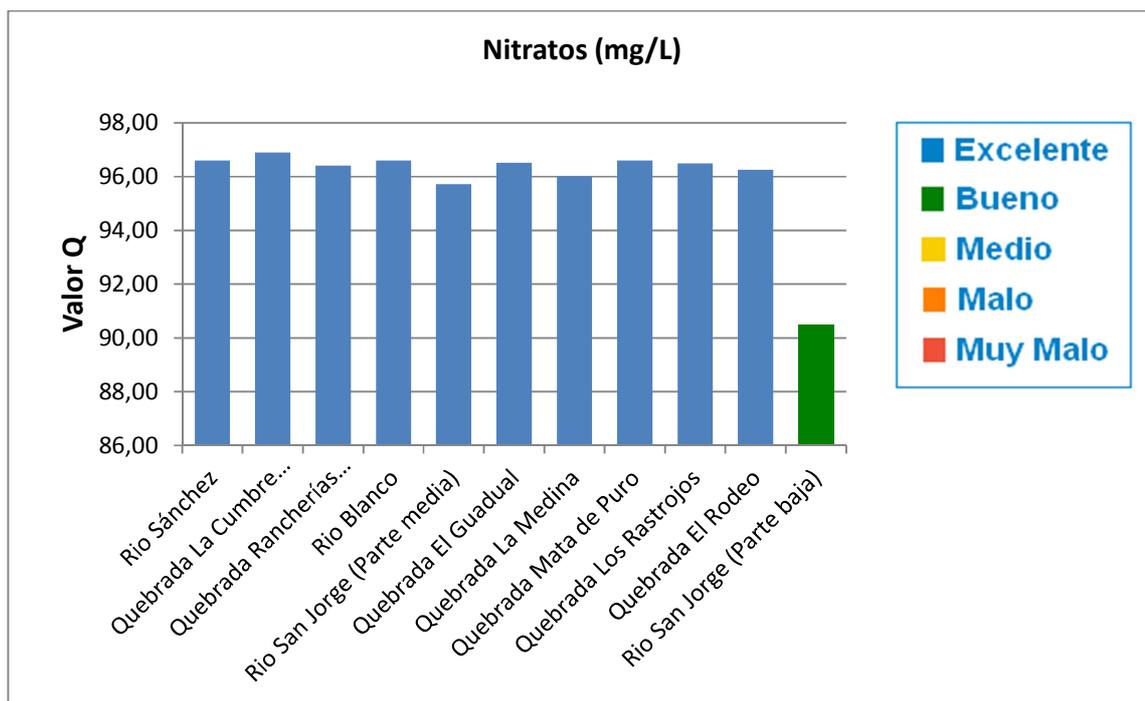
\*Valores aproximados obtenidos por estimación (Roldán y Restrepo, 2008)

**6.4.1.6 Nitritos y nitratos.** De acuerdo al cuadro 16 los valores más altos de concentración de nitritos se presentaron en los sitios sobre el río San Jorge. Esta concentración determinada se considera muy baja (oligotrófico) y obedece a la dinámica fluvial de los ecosistemas acuáticos neotropicales, en los cuales los nutrientes circulan permanentemente en la biomasa vegetal y queda muy poco disponible para el suelo, debido a la alta tasa de consumo. Esto incide en que las aguas también tengan pocos nutrientes (Roldán y Restrepo, 2008). En general el rango de concentración de nitritos observado entre los sitios se debe probablemente a que en las zonas más altas, las aguas corren por lechos pobres en nutrientes y poco antrópicas, pero a medida que llegan a sitios más bajos (como los sitios sobre el río San Jorge) el valor aumenta debido al arrastre de sedimentos sobre los suelos erosionados y por vertimientos o actividad agrícola (POMCH, 2010). La calidad de las aguas con respecto a la concentración de nitritos es aceptable para la mayoría de los sitios con excepción de los puntos sobre el río San Jorge según el criterio de calidad 475 de 1998, debido a que altas concentraciones de nitritos reaccionan con la hemoglobina y forman la metahemoglobina. Este compuesto reduce la capacidad de la sangre para transportar Oxígeno, éste disminuye y se presentan síntomas que incluyen dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico. Por otra parte según el criterio 1594 de 1984, el uso de las aguas de la mayoría de los sitios para cualquier propósito es viable. Las aguas de los sitios sobre el río San Jorge tienen uso limitado y pueden utilizarse para tratamiento convencional y desinfección (ver cuadro 5).

Como se observa en la figura 16 la clasificación del índice NSF para la concentración de nitratos en la mayoría de los sitios es EXCELENTE (con excepción del río San Jorge en el sector Capellanías que fue BUENA). La concentración de nitratos permaneció al igual que la de nitritos en un rango muy bajo, 0,1 a 2,9 mg/L (mesotrófica) y tuvo un promedio de 0,8 mg/L. La tendencia en los sitios de muestreo fue la misma que la encontrada para los nitritos, pero su concentración es mayor debido a la oxidación de los nitritos para formar nitratos por las nitrobacterias. Su disponibilidad en el agua se ve limitada por factores similares a los de los nitritos, además de que el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados incluyendo el amoníaco

así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales puede contribuir a elevar la concentración de estos en el agua. La calidad de las aguas según los criterios 475 de 1998 y 1594 de 1984 es aceptable y el uso de las aguas para cualquier propósito es viable respectivamente (ver cuadro 5).

**Figura 16.** Clasificación de los nitratos según el índice NSF en los sitios.

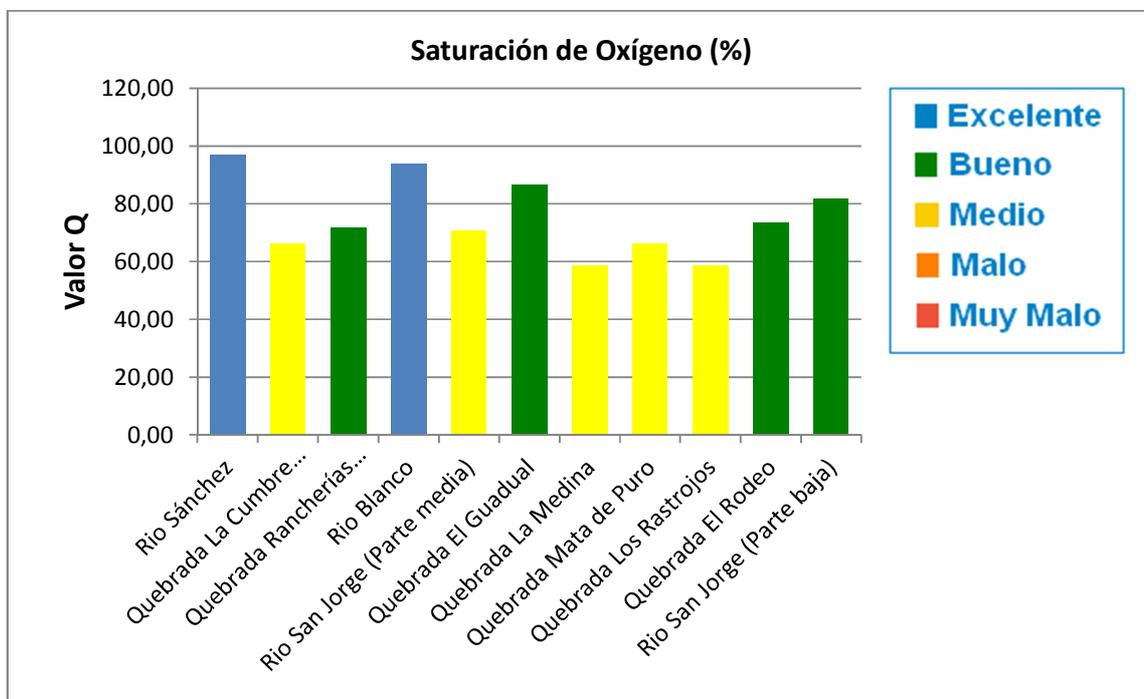


**6.4.1.7 Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de Oxígeno.** De acuerdo con lo observado en el cuadro 16 los sitios con valores más altos fueron los ríos Sánchez y Blanco, mientras los de menor valor fueron la quebrada La Medina y el río San Jorge en el sector La Playa. En la figura 17 se observa que según el índice NSF el Oxígeno disuelto presenta clasificación de calidad EXCELENTE para los ríos Sánchez y Blanco, BUENA para las quebradas Rancherías, El gradual, El Rodeo y el río San Jorge en el sector Capellanías, y finalmente MEDIA para el resto de los sitios.

La variabilidad en la clasificación de los sitios puede explicarse por diversos factores tales como: la temperatura del agua (la solubilidad del Oxígeno en el agua aumenta a medida que disminuye la temperatura (Roldan y Ramírez, 2008)), la hora de muestreo (generalmente en horas de alta intensidad lumínica y por ende de alta temperatura), el caudal de los cursos de agua en los sitios (ver cuadro 16), (ya que poco movimiento o circulación de agua genera poca difusión de Oxígeno), y la salinidad del agua, debido a que la solubilidad del Oxígeno en el agua disminuye con el incremento de su salinidad (Roldan y Ramírez, 2008).

Según los criterios de calidad de los decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984, la calidad de las aguas es aceptable (basados en el porcentaje de saturación, debido a que el OD varía mucho en función de la temperatura y de la altitud) para todos los sitios, y el uso de las aguas para los sitios sobre los ríos Sánchez, Blanco, San Jorge en el sector Capellanías y la quebrada El Guadual con cualquier propósito es viable teniendo en cuenta este parámetro, los demás sitios tendrían limitado su uso únicamente para preservación de flora y fauna, uso agrícola pecuario y para consumo humano se podría usar para desinfección (ver cuadro 5).

**Figura 17.** Clasificación de la saturación de oxígeno disuelto según el índice NSF en los sitios.

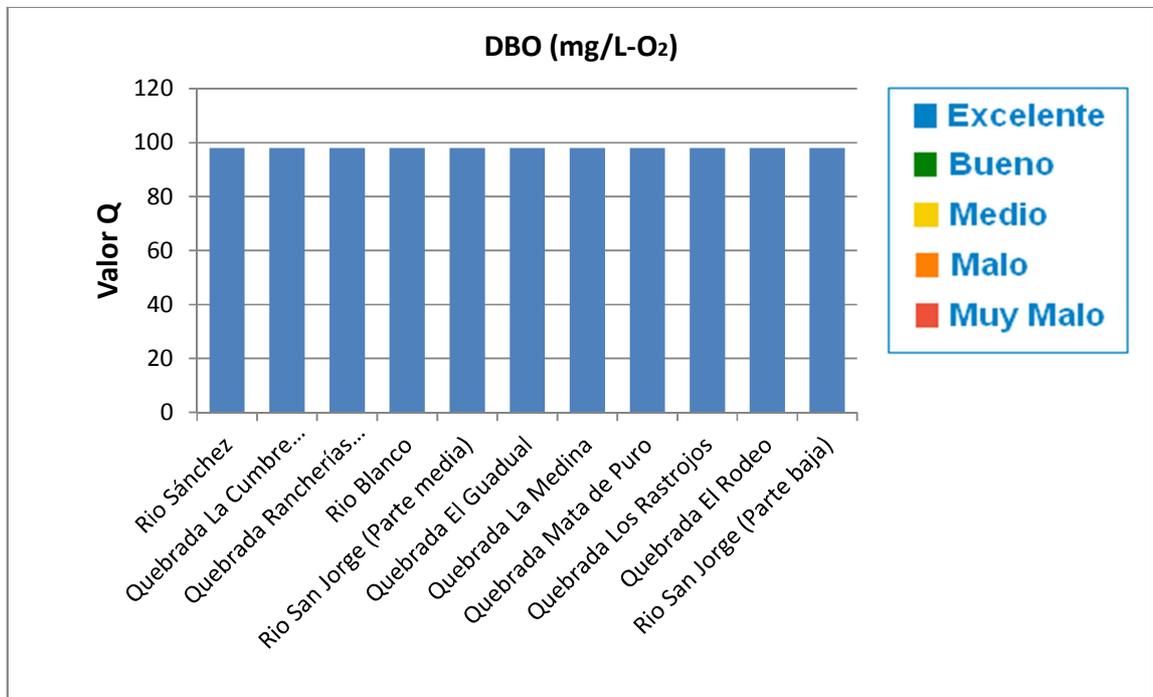


**6.4.1.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO.** La figura 18 muestra que según el índice NSF la DBO de los sitios fue EXCELENTE, igualmente se observa en el cuadro 16 que el valor de este parámetro fue muy bajo y el mismo para todos los sitios 0,5 mg/L O<sub>2</sub>. La DBO permite conocer la cantidad de materia orgánica presente en un cuerpo de agua a través de una serie de mediciones de Oxígeno. Éste Oxígeno es el requerido por las bacterias (entre otros microorganismos) para descomponer la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas (Roldan y Ramírez, 2008). Los bajos niveles de DBO determinados para los sitios sugieren la posibilidad de que en el momento del muestreo existió muy poca materia orgánica biodegradable por bacterias aeróbicas, lo que no implica que exista materia orgánica biodegradable por otras rutas metabólicas (anaeróbicas) o formas reducidas del nitrógeno (que necesitan más

tiempo de incubación para detectar el oxígeno requerido para estos compuesto)<sup>11</sup>, lo que explicaría en algunos sitios los altos niveles de coliformes.

La época de sequía permite que haya poca escorrentía o arrastre de materia orgánica de los suelos hacia los cuerpos de agua, a esto se suma que las características edafológicas de los sitios reportan que la zona presenta bajos niveles de materia orgánica. Además las condiciones ambientales podrían estar generando una muy alta tasa de biodegradación de la materia orgánica *a priori* del muestreo (por ejemplo de las coliformes), por lo que ya era escasa a la hora del muestreo. Por otra parte la calidad de las aguas en todos los sitios se considera aceptable y su uso es viable para cualquier propósito, según los decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 respectivamente.

**Figura 18.** Clasificación de la DBO según el índice NSF en los sitios.



**6.4.1.9 Demanda Química de Oxígeno, DQO.** La DQO al estar muy relacionada con la DBO ya que es la cantidad de Oxígeno en mg/L consumido en la oxidación de la materia orgánica (incluida la degradada biológicamente y alguna inorgánica: hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros<sup>12</sup>) a través de un oxidante químico presentó una tendencia similar a la de DBO (ver cuadro 16). Estos resultados

<sup>11</sup>APHA, AWWA, WEF. MÉTODOS NORMALIZADOS: Para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Díaz de Santos, S.A., 1992. p. 5-2

<sup>12</sup>APHA, AWWA, WEF. MÉTODOS NORMALIZADOS: Para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Díaz de Santos, S.A., 1992. p. 5-12

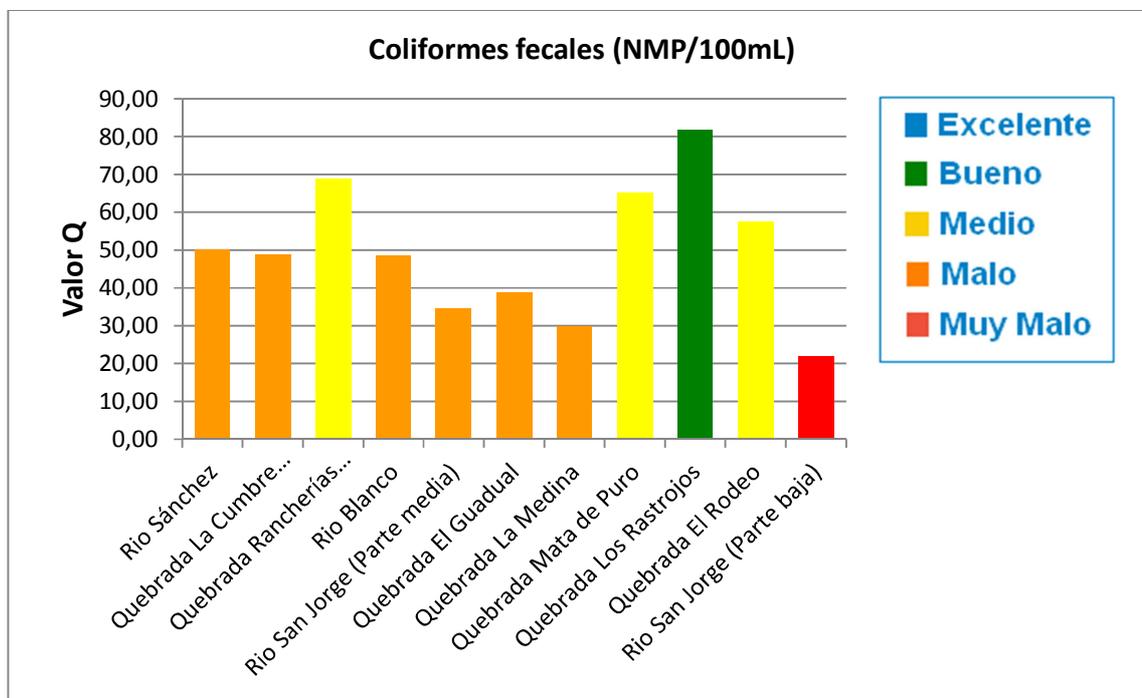
confirman la poca presencia de materia orgánica e inorgánica sin importar el tipo (biodegradable o no) a la hora del muestreo, probablemente por las mismas razones expuestas en el apartado anterior. Aunque los valores determinados para los sitios se encuentran por debajo del rango establecido por los decretos 475 de 1998 y 1594 de 1984 puede decirse que la calidad de las aguas en todos los sitios se considera aceptable y su uso es viable para cualquier propósito.

**6.4.1.10 Coliformes totales y fecales.** Como se observa en la figura 19 el parámetro coliformes totales presenta una clasificación MALA para varios sitios. Para corroborar la veracidad de este parámetro se calculó el Índice de Contaminación de Materia Orgánica, ICOMO, el cual es utilizado en Colombia, pero debido al alto nivel de oxígeno disuelto (% saturación) encontrado para los sitios, lo cual es ventajoso o indicativo de una muy buena capacidad de reoxigenación, independiente de la contaminación orgánica existente (Fernández y Solano, 2005), se obtuvo un índice de contaminación BAJO (ver cuadro 19, pagina). De acuerdo al cuadro 16 el valor más alto de coliformes fecales se presentó en el río San Jorge en el sector Capellanías, mientras que el más bajo fue el de la quebrada Los rastrojos. Para las coliformes totales los valores más bajos se presentaron en las quebradas Mata de Puro y El Rodeo, mientras que los valores más altos fueron para el resto de los sitios.

El alto valor de coliformes totales y fecales posiblemente se deba que en cercanías a los sitios existen mataderos y plazas de mercado que se encuentran localizados cerca a pequeñas fuentes de agua, además se presenta depósito de basuras en fuentes hídricas, sumado a esto no hay un sistema de alcantarillado *per se*, por lo que las deposiciones son enterradas y por consiguiente se generan lixiviados hacia las fuentes hídricas. Asimismo las condiciones del año son ideales para la proliferación de microorganismos debido a las altas temperaturas (temperaturas óptimas para reacciones enzimáticas y funcionamiento metabólico acelerado), bajos caudales (establecimiento de remansos), concentraciones medias de Oxígeno disuelto (permiten la supervivencia de bacterias tanto aeróbicas como anaeróbicas).

Los parámetro coliformes fecales y totales se ubican fuera de los rangos establecidos en el decreto 475 de 1998 por lo que se considera que su calidad es INACEPTABLE para cualquier sitio. En lo que al uso de las aguas concierne, el río San Jorge en sus dos sitios de muestreo y las quebradas El Guadual y La Medina, sus aguas no podrían utilizarse por desinfección simple, ya que su contenido de coliformes fecales supera el límite permitido. Asimismo en estos sitios (con excepción de la quebrada El Guadual) no sería viable su uso para actividades recreativas (contacto primario). Finalmente en lo que respecta al parámetro coliformes fecales, en el sitio sobre el río San Jorge en el sector Capellanías no sería viable el uso para actividad agrícola. Basados en las coliformes totales solo en los sitios sobre las quebradas Mata de Puro y El Rodeo es viable el uso para desinfección simple y para recreación (contacto primario), en los demás sitios no son viables estas actividades, pero si otras establecidas en el cuadro 5.

**Figura 19.** Clasificación de las coliformes fecales según el índice NSF en los sitios.



## 6.5 DESCARGA O CAUDAL

Según Ramírez & Viña (1998)<sup>13</sup>, la variación temporal del caudal o descarga, la amplitud de cauce, la profundidad y la velocidad de la corriente presenta una relación directa con variables como la pluviosidad, la escorrentía y la infiltración (Romero et al. 2006). Con respecto a esto se tiene que en la zona la distribución de las lluvias de la cuenca es de tipo monomodal, con una temporada lluviosa que inicia normalmente en el mes de septiembre y se prolonga hasta finales de mayo; su máxima intensidad se presenta en el mes de noviembre, mientras que hay menor intensidad en el mes de febrero. La temporada en donde disminuye la precipitación, en general tiene lugar en el lapso comprendido entre los meses de Junio a Agosto, siendo este último mes el que presenta reducciones considerables en la precipitación (POMCH). Debido a que la cuenca no cuenta con una estación limnimétrica que permita medir el caudal disponible para la misma, en el presente estudio a manera de aproximación se calculó un caudal por medio de aforos puntuales en los 11 sitios, los presentes aforos fueron

<sup>13</sup>RAMÍREZ, A.; VIÑA, G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. BP Exploration company. Fund. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá Colombia. p.3-75, citado por ROMERO *et al.* Aspectos ecológicos de los Trichoptera del parque nacional natural "Cueva de los guácharos", Huila-Colombia. En: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 2006, vol. 9, no. 1, p. 133

realizados en los meses de octubre y noviembre del 2009 época en donde el país y particularmente el sector afronto uno de los fenómenos del niño más fuertes, provocando la disminución drástica de los niveles de agua. Lo anterior se corrobora al observar que los rangos de medición de caudal tan solo estuvieron dentro del rango 0,025 a 3,5 L/s, presentándose los valores más bajos las quebradas La Cumbre (Cementerio), Rancherías (Tambores), La Medina, Los Rastrojos y Mata de Puro, mientras que los valores más altos se dieron en el río San Jorge sobre sus 2 sitios de muestreo (ver cuadro 19).

En general la descarga o caudal de los sitios evaluados corresponde con las condiciones climatológicas de la época y con las condiciones físicas de los sitios, los cuales presentan lechos tortuosos, cauces que ofrecen gran resistencia al tener fondos rocosos, pedregosos, arenosos e irregulares y remansos. Asimismo se observa un aumento del caudal conforme las aguas llegan al valle o a pisos térmicos más bajos.

**Cuadro 19.** Cálculo del caudal total en cada sitio de muestreo.

Variable	Unid	Rio Sánchez	Quebrada La Cumbre (Cementerio)	Quebrada Rancherías (Tambores)	Rio Blanco	Rio San Jorge (La Playa)	Quebrada El Guadual	Quebrada La Medina	Quebrada Mata de Puro	Quebrada Los Rastrojos	Quebrada El Rodeo	Rio San Jorge (Capellanías)
Velocidad promedio	m/s	0,155	0,1	0,11	0,48	1,004	0,5	0,45	0,1	0,37	0,26	2,5
Profundidad máxima	cm	76,5	25	32	28	38	20	10	40	7	33	130
Área específica	m <sup>2</sup>	0,765	0,25	0,32	0,28	0,38	0,2	0,1	0,4	0,07	0,33	1,3
Caudal total	m <sup>3</sup> /s	0,118	0,025	0,035	0,134	0,38	0,1	0,045	0,04	0,026	0,086	3,25

## 6.6 INDICES DE CONTAMINACIÓN ICOS

El cuadro 20 muestra los índices de Contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOPH determinados para cada sitio. En este se destaca que sitios como la quebrada Los Rastrojos presenta un ALTO nivel de contaminación por mineralización y sólidos suspendidos (STD, debido a que el índice lo calcula con éste parámetro) y las quebradas La Cumbre (Cementerio) y El Guadual un nivel MEDIO de contaminación por los mismos parámetros. Este resultado corrobora lo encontrado por el índice NSF para estos sitios con respecto a los parámetros conductividad, dureza total y STD. Para los anteriores se estableció que los valores observados y determinados son

producto de la naturaleza geoquímica del terreno y su concentración varía principalmente por la época del año (sequía) y con su estado trófico.

Cabe destacar además que ninguno de los sitios presenta contaminación por pH y todos exhiben un nivel BAJO de contaminación por materia orgánica. Éste último debe su baja clasificación (a pesar del alto contenido de coliformes totales y fecales en los sitios) a los niveles de Oxígeno disuelto (% saturación) encontrado para los sitios, lo cual es ventajoso o indicativo de una muy buena capacidad de reoxigenación, independiente de la contaminación orgánica existente (Fernández y Solano, 2005).

**Cuadro 20.** Índices de contaminación calculados para los sitios de muestreo.

Sitio	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOpH
Rio Sánchez	0,068 (Ninguno)	0,299 (Bajo)	0,129 (Ninguno)	0,024 (Ninguno)
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	0,456 (Medio)	0,314 (Bajo)	0,505 (Medio)	0,024 (Ninguno)
Quebrada Rancherías (Tambores)	0,143 (Ninguno)	0,313 (Bajo)	0,238 (Bajo)	0,034 (Ninguno)
Rio Blanco	0,074 (Ninguno)	0,308 (Bajo)	0,14 (Ninguno)	0,024 (Ninguno)
Rio San Jorge (La Playa)	0,088 (Ninguno)	0,317 (Bajo)	0,152 (Ninguno)	0,062 (Ninguno)
Quebrada El Guadual	0,453 (Medio)	0,315 (Bajo)	0,556 (Medio)	0,045 (Ninguno)
Quebrada La Medina	0,266 (Bajo)	0,317 (Bajo)	0,390 (Bajo)	0,019 (Ninguno)
Quebrada Mata de Puro	0,118 (Ninguno)	0,313 (Bajo)	0,207 (Bajo)	0,015 (Ninguno)
Quebrada Los Rastrojos	0,674 (Alto)	0,315 (Bajo)	0,655 (Alto)	0,062 (Ninguno)
Quebrada El Rodeo	0,059 (Ninguno)	0,312 (Bajo)	0,116 (Ninguno)	0,032 (Ninguno)
Río San Jorge (Capellanías)	0,203 (Bajo)	0,398 (Bajo)	0,266 (Bajo)	0,099 (Ninguno)

## 6.7 CORRELACION Y COMPARACIÓN INDICES DE CALIDAD

Para determinar el grado de relación de los índices de calidad y contaminación determinados se utilizó la correlación de Pearson. El cuadro 21 muestra la correlación entre los índices utilizados y se observa que existe correlación positiva y significativa (99,9%) entre los índices BMWP y NSF, ICOMI e ICOSUS, e ICOMO e ICOpH. Lo que implica que existe dependencia entre las variables o relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

Lo anterior muestra que los valores de los índices en los sitios muestran tendencia similares (o clasificación). También se observa que se presenta correlación negativa y significativa (95,0%) entre el índice BMWP e ICOpH, y el NSF e ICOMO. Lo que implica que existe dependencia entre las variables o relación directa: cuando una de ellas disminuye, la otra también lo hace en proporción constante. Los demás emparejamientos presentan correlaciones positivas y negativas pero no son significativas.

**Cuadro 21.** Correlación de Pearson de los índices de calidad y contaminación determinados.

	<b>Estadístico</b>	<b>BMWP</b>	<b>NSF</b>	<b>ICOMI</b>	<b>ICOMO</b>	<b>ICOSUS</b>	<b>ICOPH</b>
<b>BMWP</b>	Correlación de Pearson	1	,659(*)	-,323	-,561	-,317	-,649(*)
	Sig. (bilateral)	.	,028	,333	,073	,343	,031
	N	11	11	11	11	11	11
<b>NSF</b>	Correlación de Pearson	,659(*)	1	-,186	-,659(*)	-,237	-,457
	Sig. (bilateral)	,028	.	,584	,027	,482	,158
	N	11	11	11	11	11	11
<b>ICOMI</b>	Correlación de Pearson	-,323	-,186	1	,029	,985(**)	,223
	Sig. (bilateral)	,333	,584	.	,933	,000	,509
	N	11	11	11	11	11	11
<b>ICOMO</b>	Correlación de Pearson	-,561	-,659(*)	,029	1	,026	,805(**)
	Sig. (bilateral)	,073	,027	,933	.	,940	,003
	N	11	11	11	11	11	11
<b>ICOSUS</b>	Correlación de Pearson	-,317	-,237	,985(**)	,026	1	,168
	Sig. (bilateral)	,343	,482	,000	,940	.	,622
	N	11	11	11	11	11	11
<b>ICOPH</b>	Correlación de Pearson	-,649(*)	-,457	,223	,805(**)	,168	1
	Sig. (bilateral)	,031	,158	,509	,003	,622	.
	N	11	11	11	11	11	11

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Como se observa en el cuadro 22 las clasificaciones otorgadas por los índices NSF y BMWP son diferentes y podría decirse que apenas concuerdan en dos sitios: quebrada La Medina y el sitio sobre el río San Jorge en su parte baja (Capellanías) cada uno con clasificación MEDIO-DUDOSA y MEDIO-CRÍTICA respectivamente. Esto confirma las desventajas del uso de los ICA debido a que la principal falencia de éste, está constituida en el hecho de concentrarse en un único valor de calidad de un cuerpo de agua, produciendo una gran pérdida de información y enmascaramiento de las condiciones reales del sistema. La ponderación de algunos parámetros es excesiva (Ramírez y Viña, 1998)<sup>14</sup>.

<sup>14</sup>RAMÍREZ, A.; VIÑA, G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. BP Exploration company. Fund. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá Colombia. p.3-75, citado por FERNANDEZ, N., y SOLANO, Fredy. Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Pamplona (Colombia): Universidad de Pamplona, 2005. p. 43

**Cuadro 22.** Comparativo de la clasificación y coloración de los parámetros fisicoquímicos incluidos en el índice NSF, los índices NSF y BMWP.

Sitio	Índice									
	NSF por parámetro								NSF	BMWP
	DBO	Oxígeno disuelto	Coliformes fecales	Nitratos	pH	Temperatura del agua	STD	Turbidez		
Río Sánchez	Excelente	Excelente	Malo	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Bueno	Buena	Buena
Quebrada La Cumbre (Cementerio)	Excelente	Medio	Malo	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Bueno	Buena	Aceptable
Quebrada Rancherías (Tambores)	Excelente	Bueno	Medio	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Bueno	Buena	Aceptable
Río Blanco	Excelente	Excelente	Malo	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Bueno	Buena	Aceptable
Río San Jorge parte media (La Playa)	Excelente	Medio	Malo	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Bueno	Buena	Critica
Quebrada Guadual	Excelente	Bueno	Malo	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Bueno	Buena	Dudosa
Quebrada Medina	Excelente	Medio	Malo	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Excelente	Media	Dudosa
Quebrada Mata de Puro	Excelente	Medio	Medio	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Medio	Buena	Dudosa
Quebrada Rastrojos	Excelente	Medio	Bueno	Excelente	Bueno	Medio	Medio	Bueno	Buena	Dudosa
Quebrada Rodeo	Excelente	Bueno	Medio	Excelente	Bueno	Medio	Bueno	Excelente	Buena	Dudosa
Río San Jorge parte baja (Capellanías)	Excelente	Bueno	Muy malo	Bueno	Medio	Bueno	Bueno	Medio	Media	Critica

## 7. CONCLUSIONES

Entre los factores naturales de la zona o en cercanías a los sitios de muestreo que tienen un efecto individual o en conjunto sobre la calidad del agua se encuentran: el piso térmico (templado y cálido), procesos de alta o baja amenaza por remoción en masa, lo que se manifiesta en diferentes rasgos topográficos, vegetación predominantemente mediana y rasante, suelos que van en general desde profundos a superficiales, bien a excesivamente drenados, de textura franco-arcillosa a arcillosa, con erosión moderada a muy severa, con pH entre 5,0 a 7,2, contenidos medios a bajos de carbono orgánico, contenidos medianos a bajos de Fósforo, de mediana a alta saturación de bases y de mediana a alta capacidad de intercambio catiónico.

Sumado a las características naturales de la zona, la constante y continua presión antrópica, la actividad minera (legal e ilegal) con diversos propósitos, la deforestación indiscriminada para la satisfacción de sus necesidades; a nivel doméstico, para la obtención de leña, madera (para construcciones propias de las fincas como viviendas, establos casetas entre otras) y postes; económico, en el caso de la extracción de madera con fines comerciales; y agropecuario, (ganadería bovina, especies menores) cuando se tala con el fin de abrir potreros y posteriormente sembrar cultivos, principalmente cultivos de pancoger, frutales, café, caña e ilícitos. Pero también para la extracción de leña para la combustión en ladrilleras, entre otras son las principales causas del deterioro del medio ambiente, reflejado en procesos de erosión, pérdida de la diversidad biológica, uso inapropiado de los suelos, alteración negativa en el régimen de lluvias, pérdida de caudales y sedimentación de los cuerpos de agua.

Durante el muestreo de macroinvertebrados acuáticos en los 11 sitios, *Hydropsychidae* y *Leptonema* fueron la familia y el género más abundante del estudio respectivamente. Los géneros con mayor abundancia en cada sitio fueron *Helicopsyche* en el río Sánchez, *Leptonema* en las quebradas La Cumbre (Cementerio), quebrada Rancherías (Tambores), y la Quebrada Mata de Puro, *Mortoniella* en el río Blanco, *Chironomus* en el río San Jorge en el sector La Playa, *Sp. 1 (Baetidae)* en la quebrada El Guadual, en el río San Jorge sector *Capellanías*, *Tipula* en la quebrada Los Rastrojos, y *Macrothemis* en la quebrada El Rodeo.

El análisis de calidad biológica mostró que el sitio sobre el río Sánchez presentó la mejor clasificación de calidad de agua según el índice BMWP catalogándolo como un sitio con aguas limpias, asimismo exhibió el mayor valor del índice de Shannon (H') congruente con una mediana diversidad e indicando que la comunidad no está siendo afectada por tenses ambientales diferentes a los de origen natural, finalmente presentó el mayor valor para el índice de Simpson registrando el mayor número de géneros y una comunidad diversa. Del otro lado los sitios con peor clasificación según el índice BMWP fueron los sitios sobre el río San Jorge, lo que los cataloga como aguas muy contaminadas, muy baja diversidad (según el índice de Shannon), menores riquezas y menos diversas (según el índice de Simpson). La correlación de estos resultados (valores de los índices) es positiva y significativa, esto muestra que los valores de los índices en los sitios muestran la misma tendencia. Finalmente según el índice Disimilitud/

Similitud de Bray Curtis el mayor grado de similitud de géneros colectados entre zonas se presentó en las quebradas El Rodeo y Los Rastrojos, mientras que el Río San Jorge en el sector La Playa y la quebrada La Medina presentaron ausencia de similitud, demostrando que los géneros establecidos en cada sitio son diferentes y no comparten alguno. El porcentaje de similaridad obtenido para las quebradas El Rodeo y Los Rastrojos se debe a que son sitios con sistemas de producción, topografía y de dinámica fluvial similares, aunque las mediciones de sus parámetros fisicoquímicos no lo sean (esto posiblemente porque se realizó un muestreo puntual en días y horas diferentes).

El índice NSF clasificó los sitios sobre los ríos Sánchez y Blanco, y las quebradas La Cumbre (Cementerio), Rancherías (Tambores), El Guadual, Mata de Puro, Los Rastrojos y El Rodeo como sitios con agua de BUENA calidad, lo que sugiere un bajo nivel de estrés hídrico y un buen nivel de calidad fisicoquímica del recurso. Además mostró que sitios tales como los ubicados sobre el río San Jorge en el sector Capellanías y la quebrada La Medina se clasifican como sitios con agua de MEDIANA calidad, sugiriendo que se presenta un nivel medio de estrés hídrico y un nivel medio de calidad fisicoquímica del recurso, resultado que concuerda en gran parte con lo hallado para Capellanías cuando se analizan los parámetros fisicoquímicos individualmente para este sitio.

Según el decreto 475 de 1998 ningún sitio presenta aguas de calidad aceptable según los parámetros coliformes fecales y totales. Las aguas de calidad más aceptable fueron las de la quebrada El Rodeo, mientras que las más inaceptables fueron las del sitio sobre el río San Jorge en el sector Capellanías, los demás sitios presentan inaceptabilidad únicamente por turbidez, coliformes totales y fecales. El decreto 1594 de 1984 permite el uso de las aguas de varios sitios en distintas actividades, pero se destaca que la mayoría se encuentran inhabilitados para su uso en desinfección y actividad recreativa por contacto primario debido a los altos niveles de coliformes totales.

Los bajos valores de los caudales determinados durante el estudio correspondieron a la época del año, a variables como la pluviosidad, la escorrentía, la infiltración y a la dinámica fluvial de la subcuenca, de ahí que el sitio con el caudal más alto fue el ubicado sobre el río San Jorge en el sector Capellanías.

Los índices de Contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOPH determinados para cada sitio mostraron que todos los sitios exhiben contaminación por materia orgánica (BAJA), además la quebrada Los Rastrojos, La Cumbre (Cementerio) y El Guadual presentan contaminación por mineralización y sólidos suspendidos.

La calidad biológica, fisicoquímica y microbiológica del sitio sobre el río Sánchez fue la mejor según los índices de calidad utilizados en este estudio, mientras que la peor fue la del sitio sobre el río San Jorge en el sector Capellanías. La prueba de correlación realizada sobre los índices de calidad biológica BMWP y calidad fisicoquímica NSF mostro que existe una correlación positiva y significativa sugiriendo que la tendencia de valores de los índices fue la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE ANDRADE, Jorge. Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la cuenca del río Yanuncay. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, 2011. 232 p.

APHA, AWWA, WEF. MÉTODOS NORMALIZADOS: Para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Díaz de Santos, S.A., 1992. p. 2-12, 2-63, 5-2, 5-12

BUSTAMANTE, César; MONSALVE, Elkin y GARCÍA, Pedro. Análisis de la calidad del agua en la cuenca media del río Quindío con base en índices físicos, químicos y biológicos. En: Revista de Investigaciones -Universidad del Quindío. Junio 2008, vol. 18, p. 22-31

CARDONA LONDOÑO, Claudia María. La cuenca hidrográfica como unidad de planificación. En: Revista Senderos Ambientales. 2006, vol. 1, no. 1, p. 26-33

CAUCA. ALCALDÍA MUNICIPAL DE BOLIVAR. PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL (PDM). DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. 2012-2015. 172 p. NIT 800095961-2

CORDOVA, Salomé, *et al.* Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. En: Latino American Journal of Aquatic Research. Marzo 2009, vol. 37, no. 2, p.199-209

DOMÍNGUEZ, Eduardo y FERNÁNDEZ, Hugo. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. Tucumán - Argentina: Fundación Miguel Lillo, 2009. 654 p.

EPLER, John. Identificación Manual for the Water Beetles of Florida: (Coleoptera: Dryopidae, Dytiscidae, Elmidae, Gyrinidae, Haliplidae, Hydraenidae, Hydrophilidae, Noteridae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Scirtidae). Tallahassee: Bureau of Water Resource Protection. Florida Department of Environmental Protection. 1996, 257 p.

FAÑA, B. J. Evaluación Rápida de la Contaminación Hídrica. Ediciones G.H.e.N. Grupo Hidroecológico Nacional, Inc. (G.H.e.N). República Dominicana. [En línea]. [Marzo 2 de 2002, 09-15'22"]. Disponible en: <http://www.ambiente-ecologico.com/067-02 2000/juannicolafania67.htm>

FERNANDEZ, N., y SOLANO, Fredy. Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Pamplona (Colombia): Universidad de Pamplona, 2005. 142 p.

FUNRAICES. PLAN DE ORDENACION Y MANEJO PARTE BAJA DE LA SUBCUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO SAN JORGE, POMCH BAJO SAN JORGE. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA C.R.C. 2010. 267 p.

GARCÍA, Carlos; VALENCIA, César; VANEGAS, James y ARCILA, Dahiana. Análisis fisicoquímico y biológico comparado en dos quebradas de alta montaña neotropical. En: Revista de Investigaciones Universidad del Quindío. 2007, no. 17, p. 57-80

HAHN-VONHESSBERG, Christine *et al.* Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. En: Bol. Cient. Mus. Hist. Nat., 2009, vol. 13, no. 2, p. 89 - 105

HERRERA, Alejandro. LA CLASIFICACIÓN NUMÉRICA Y SU APLICACIÓN EN LA ECOLOGÍA. Santo Domingo: Editora SANMERYCAR, C por A. 2000, 88 p.

LEÓN, Carlos. Estandarización y validación de una técnica para medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno por el método respirométrico y la Demanda Química de Oxígeno por el método colorimétrico. Pereira, 2009, 103 p. Trabajo de Grado (Tecnólogo Químico). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de Tecnología Química. Programa de Tecnología Química

LONGO, Magnolia; ZAMORA, Hilldier; GUISANDE, Cástor y RAMÍREZ, John. Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia): Respuesta a los cambios estacionales de caudal. En: Limnetica. 2010, vol. 29, no. 2, p. 195-210

MACHADO, T. Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Tesis previa a la obtención del título Biólogo. Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biología. 1989, 324 p.

MAGURRAN, Anne. Measuring Biological Diversity. United Kingdom: TJ International. 2004, 215 p.

MARGALEF, R. Limnología. Barcelona (España): Ediciones Omega, 1983, p.1009. ISBN 84-282-0714-3

MARTÍNEZ, Carolina y FERNÁNDEZ, J. Régimen de caudales: definición del estatus hidrológico y valoración de la alteración. En: Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente (3: 25-27, octubre: Zaragoza, España). Boletín. Zaragoza: COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS ASOCIACIÓN DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS, 2006. p. 1-17

MCCAFFERTY, Patrick. Aquatic Entomology: The Fishermen's Guide and Ecologists' Illustrated Guide to Insects and Their Relatives. United States of America: Jones & Bartlett Learning, 1983, 448 p.

MEDELLÍN, Francisco; RAMÍREZ, Mónica y RINCÓN, María. Trichoptera del santuario de Iguaque (Boyacá, Colombia) y su relación con la calidad del agua. En: Revista Colombiana de Entomología. 2004, vol. 30, no. 2, p. 197-203

MONDRAGON, Carmen. Información hidrobiológica en los ríos Tuluá y Bugalagrande en 10 estaciones de muestreo. Santiago de Cali: CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA CVC. 2006. 27 p.

MONTOYA, Yimmy *et al.* Dinámica multianual de los macroinvertebrados acuáticos bentónicos en la quebrada Vegas de la Clara. En: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo. 2010, vol. 29, no. 2, p. 201-210

MOSQUERA, Duberly; PALACIOS, Martha y SOTO, Alejandro. Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, Valle del Cauca, Colombia; usando macroinvertebrados acuáticos. En: Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. 2008, no. 20, p. 130-143

MUÑOZ, Fernando. El género *Leptonema* (Trichoptera: Hydropsychidae) en Costa Rica, con la descripción de una nueva especie. En: Revista de Biología Tropical [online]. 1999, vol.47, no.4, p. 959-1006. ISSN 0034-7744.

MUÑOZ, Fernando. Especies del Orden Trichoptera (Insecta) en Colombia. En: Biota Colombiana. 2000, vol.1, no. 3, p. 267 - 288

MURGEL, S. Limnología Sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Washington, D.C.: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. 1984, p 120.

PLA, Laura. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon & Weaver (H') y la Riqueza. En: Revista INTERCIENCIA. Agosto de 2006, vol. 31, no. 8, p. 583-584

POSADA, José; ROLDAN, Gabriel y RAMIREZ John. Caracterización fisicoquímica y biológica de calidad de aguas de la cuenca Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. En: Revista Biología Tropical. Marzo de 2000, vol. 48, no. 1, p. 59-70

RAMOS, Lina, VIDAL, Luis; VILARDY, Sandra y SAAVEDRA Lina. Análisis de la Contaminación Microbiológica (Coliformes Totales y Fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. Acta biológica. Colombiana. 2008, vol. 13, no. 3, p. 87-98.

REINOSO, G.; VILLA, F.; ESQUIVEL, H.; GARCIA, J.; y VEJARANO, M. 2008. Biodiversidad Faunística y Florística de la cuenca mayor del río Saldaña (subcuenca Anamichú) - Biodiversidad Regional Fase IV. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia

ROCHA, Zulma. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. En: Cultura Científica. Octubre 2004, no. 2, p. 34-40

RODRÍGUEZ, Douglas; ROMERO, Lisbeth; CORONEL, Jorge y AMARO, Ahyran. Caracterización preliminar de los ambientes fluviales en la Cuenca del río Tocuyo, vertiente del Caribe, Venezuela. En: Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales. 2007, no. 166, p. 59-79

ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Medellín, Colombia. 1996.217p.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. En: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. 23, No. 88, septiembre de 1999. p. 375–387.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad de Antioquia, 2003. 182 p.

ROLDÁN PÉREZ, Gabriel y RAMÍREZ RESTREPO, John. Fundamentos de Limnología Neotropical. 2 ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 2008. 440 p.

ROMERO, Ivonne; PÉREZ, Sandra y RINCÓN, María. Aspectos ecológicos de los Trichoptera del parque nacional natural "Cueva de los guácharos", Huila-Colombia. En: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 2006, vol. 9, no. 1, p. 129-140

ROSENBERG, D. M. & RESH, V. H. 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. New York: Editorial Chapman & Hall. 488p.

RUIZ, María y RINCÓN, María. Calidad ecológica del río Villeta. En: Tecne Episteme y Didaxis. 2002, vol. 12, p. 62-77

SAMBONI, Natalia; CARVAJAL, Yesid; y ESCOBAR, Juan. A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. En: Ing. Investig. Septiembre-Diciembre de 2007, vol.27, no.3. p. 172-181. ISSN 0120-5609.

SPRINGER, Monika. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I: Trichoptera. En: Revista de Biología Tropical. Diciembre 2010, vol. 58, suple. 4, p. 149-198

TAMARIS, César; CORREA, Rodrigo y ZUÑIGA, María del Carmen. Distribución espacio-temporal y hábitos alimentarios de ninfas de *Anacroneuria* (insecta: plecoptera: perlidae) en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). En: Caldasia. 2007, vol. 29, no. 2, p. 375-385

VÁSQUEZ, Jesús; RAMÍREZ, Fernando, y REINOSO Gladys. Distribución espacial y temporal de los tricópteros inmaduros en la cuenca del río Totare (Tolima-Colombia). En: Caldasia. 2010, vol. 32, no. 1, p. 129-148

WIGGINS, Glenn. Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera). California: University of Toronto Press. 1997. 401 p. ISBN0802053440, 9780802053442

ZAMORA, H. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. En: Revista Unicauca-Ciencia. 1999, vol. 4, p. 47-60.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. El Índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. En: Revista De La Asociación Colombiana De Ciencias Biológicas. 2007, vol. 19, p. 78 - 81 ISSN: 0120-4173.

ZUÑIGA, M.; ROJAS, A. y CAICEDO, G. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. En: Revista de la Universidad del Valle. Julio-Diciembre 1993, vol. 13, no. 2. 27 p.

ZUÑIGA, M.; STARK, B.; ROJAS, A. y BAENA, M. Distribution of *Anacroneuria* species (Plecoptera; Perlidae) in Colombia. Editado por E. Domínguez. En: Trends in Research in Ephemeroptera and Plecoptera. 2001, p. 301-304 ISBN978-1-4615-1257-8