





**ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO INGENIO  
MUNICIPIO DE SANDONA MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS,  
BIOLÓGICOS Y BACTERIOLÓGICOS.**

**CRISTINA CABRERA MARTÍNEZ  
CARMEN ALICIA ROJAS CÓRDOBA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA CON ÉNFASIS EN ECOLOGÍA  
SAN JUAN DE PASTO  
2004**

**ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO INGENIO  
MUNICIPIO DE SANDONA MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS,  
BIOLÓGICOS Y BACTERIOLÓGICOS.**

**NANCY CRISTINA CABRERA MARTÍNEZ  
CARMEN ALICIA ROJAS CÓRDOBA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar el Título de  
BIÓLOGO CON ÉNFASIS EN ECOLOGÍA**

**Asesor:  
GUILLERMO CASTILLO BELALCÁZAR. Esp. en Ecología**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA CON ÉNFASIS EN ECOLOGÍA  
SAN JUAN DE PASTO  
2004**

**“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grada son responsabilidad exclusiva de los autores”**

**Artículo 1° del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.**

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Lucila Riáscos Forero**  
**Jurado**

---

**Belisario Cepeda**  
**Jurado**

---

**Guillermo Castillo**  
**Asesor**

**San Juan de Pasto, 11 de noviembre de 2004.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Agradecemos a la Universidad de Nariño cuna de intelectuales, quien nos dejó crecer para poder ser unas profesionales.**

**A nuestro Asesor, el Especialista Guillermo Castillo, por el tiempo dedicado a la realización de nuestro trabajo de grado.**

**A la doctora María del Carmen Zúñiga de Cardozo, por su consultoría.**

**A los profesores Arsenio Hidalgo y John Jairo Calderón, quienes nos ayudaron con la parte estadística de nuestro trabajo.**

**A Mauricio Rodríguez, Biólogo de la universidad de Nariño, encargado del laboratorio de entomología**

**Al señor Franco Benavides y Aura Martínez, quienes nos acompañaron y nos guiaron en el reconocimiento de campo.**

**Agradecemos también a todas las personas que de una u otra manera nos apoyaron con la realización de nuestro trabajo.**

*DEDICAO*

*Dios, quien me ha dado la fortaleza para realizar  
este trabajo y permitirme dar un paso  
mas al éxito.*

*A mis padres, Franco Cabrera y  
Marleny Martínez,  
por su apoyo económico  
y fuerza moral*

*A mi hija María Camila y a mi esposo  
Armando Leonel, quienes sacrificaron  
su tiempo y me apoyaron  
en todo momento.*

*CRISTINA CABRERA MARTÍNEZ*

DEDICAO

*A Dios porque me permitió culminar  
una meta más en mi vida*

*A mis padres Aura Córdoba y  
Rufo Rojas por su apoyo  
incondicional*

*A mi esposo Alveiro y a mi hija Camila  
que con su amor me dieron  
fuerza para continuar*

CARMEN ALICIA ROJAS CÓRDOBA

## **CONTENIDO**

	<b>pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
<b>1.1 GENERAL:</b>	<b>19</b>
<b>1.2 ESPECÍFICOS:</b>	<b>19</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
<b>2.2 FUENTES HÍDRICAS TROPICALES</b>	<b>20</b>
<b>2.3 CONTAMINACIÓN</b>	<b>24</b>
<b>2.4 INDICADORES BIOLÓGICOS</b>	<b>30</b>
<b>2.4.1 Índices de diversidad.</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2 Índice de similitud.</b>	<b>31</b>
<b>2.4.3 Enfoque biótico.</b>	<b>32</b>
<b>2.5 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.</b>	<b>32</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>34</b>
<b>3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO.</b>	<b>34</b>
<b>3.2 ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>36</b>
<b>3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA.</b>	<b>39</b>
<b>3.4 CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA.</b>	<b>40</b>
<b>3.5 CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA</b>	<b>40</b>
<b>3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>	<b>41</b>
<b>4. RESULTADOS.</b>	<b>42</b>

<b>4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA</b>	<b>42</b>
<b>4.2 CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA</b>	<b>52</b>
<b>4.3 ÍNDICES DE DIVERSIDAD</b>	<b>62</b>
<b>4.4 ÍNDICE DE SIMILITUD</b>	<b>63</b>
<b>4.5 ÍNDICE BIÓTICO BMWP</b>	<b>63</b>
<b>4.6 CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA</b>	<b>66</b>
<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>68</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>77</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1. Municipio de Sandoná.</b>	<b>34</b>
<b>Figura 2. Delimitación de la Cuenca El Ingenio y sus puntos de muestreo.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 3. Estación 1 La Horqueta 3000 m.s.n.m.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 4. Estación 2 Bocatoma. 1967 m.s.n.m.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 5. Estación 3 Planta Hidroeléctrica 1550 m.s.n.m</b>	<b>38</b>
<b>Figura 6. ESTACIÓN 4 EL SALADO 1300 m.s.n.m.</b>	<b>38</b>
<b>Figura 7. Variación del caudal en las 4 estaciones de muestreo.</b>	<b>43</b>
<b>Figura 8. Precipitación y temperatura del municipio de Sandoná en los meses de septiembre de 2002 a enero de 2003.</b>	<b>43</b>
<b>Figura 9. Variación de la temperatura en las 4 estaciones río ingenio.</b>	<b>45</b>
<b>Figura 10. Variación Del <math>CO_2</math>, alcalinidad y ph en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 11. Variación de DBO, DQO y oxígeno disuelto en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>47</b>
<b>Figura 12. Variación de sólidos disueltos, totales y suspendidos en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>47</b>
<b>Figura 13. Variación de la conductividad en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 14. Variación del cloruro en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 15. Variación de la dureza en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>49</b>
<b>Figura 16. Variación del amonio, nitritos y nitratos en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>50</b>

<b>Figura 17. Variación del sulfato en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>50</b>
<b>Figura 18. Variación del fosfato en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>51</b>
<b>Figura 19. Variación del hierro en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.</b>	<b>51</b>
<b>Figura 20. Orden: Ephemeroptera-Familia: Baetidae -Genero: <i>Baetodes</i>.</b>	<b>54</b>
<b>Figura 21. Orden: Trichóptera . Familia: Hydropsychidae. Genero: <i>Smicridia</i>.</b>	<b>55</b>
<b>Figura. 22. Principales géneros de la estación 1 río ingenio.</b>	<b>55</b>
<b>Figura 23. Clase: Crustacea. Orden: Amphipoda. Familia: Hyalellidae.</b>	<b>56</b>
<b>Figura 24. Principales géneros de la estación 2 río ingenio.</b>	<b>57</b>
<b>Figura 25. Orden: Basommatophora- Familia: Lymnaeidae.</b>	<b>58</b>
<b>Figura 26. Orden: Tricoptera Familia: Hidropsichidae Genero: <i>Leptonema</i>.</b>	<b>58</b>
<b>Figura 27. Orden: Tricladida Familia: Planariidae. Genero: <i>Ougesia</i></b>	<b>59</b>
<b>? ?????? ???? ? ???</b>	<b>???</b>
<b>Figura 29. Orden: Díptera- Familia: Chironomidae-Genero: <i>Orthocladidae</i></b>	<b>60</b>
<b>Figura 30. Orden: Diptera. Familia: Chinoromidae Genero: <i>Ablapsemyia</i></b>	<b>61</b>
<b>Figura. 31. Principales géneros de la estación 4 río ingenio.</b>	<b>61</b>
<b>Figura. 32. Representación cartográfica bmwp río ingenio.</b>	<b>66</b>
<b>Figura 33 Coliformes fecales y totales en el río ingenio.</b>	<b>67</b>
<b>Figura. 34. Estación 2 bocatoma.</b>	<b>73</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1. Metodología utilizada en la medición de parámetros fisicoquímicos.</b>	<b>34</b>
<b>Tala 2. Valores de caudal en las 4 estaciones de muestreo.</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 3. Resultado de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del río ingenio.</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 4. Inventario de la macrofauna acuática del río el ingenio.</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 5. Índices de diversidad.</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 6. Índices de similitud de jaccard.</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 7. Valores del índice bmwp para las familias encontradas en los cuatro puntos de estudio.</b>	<b>65</b>

## **GLOSARIO**

**CONTAMINACIÓN:** Adición de cualquier inmundicia en un cuerpo causando manchas o mal olor. En el agua es la adición de cualquier sustancia extraña a un cuerpo de agua

**CALIDAD DEL AGUA:** Cualidades o condiciones en que se encuentra cualquier fuente de agua, fácil de alterar

**MACROINVERTEBRADOS:** Pequeños organismos que habitan en un ecosistema acuático según las condiciones del mismo.

**LIMNOLOGÍA:** Ciencia que estudia los cuerpos hídricos.

**ALÓCTONO:** Material disponible para alimento de la biota en cualquier ecosistema acuático

**CUERPOS LÓTICOS:** Fuentes de agua corrientes como los ríos

## RESUMEN

El uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores para determinar la calidad del agua del río El Ingenio, es un método confiable y poco costoso que permite tener una idea más cercana a la realidad de las condiciones imperantes en una fuente de agua. En el presente trabajo se analiza la calidad del agua del río Ingenio, con base en la presencia de macroinvertebrados acuáticos, medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, desde su nacimiento hasta su desembocadura. Se midieron parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, caudal, CO<sub>2</sub> y alcalinidad “in situ” y en el laboratorio de aguas, los demás como: conductividad, dureza, cloruros, nitratos, nitritos, amonio, sulfatos, fosfatos, hierro, sólidos totales, sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub> y DQO; también los análisis microbiológicos para detectar la presencia de coliformes totales y fecales.

Los parámetros CO<sub>2</sub> y OD, sólidos disueltos, nitritos, sulfatos, fosfatos, DBO<sub>5</sub> y DQO, están por encima de lo permitido (estación 3 y 4) para esta fuente de agua potable, siendo los nitritos, DBO y DQO los parámetros más afectados.

Se encontraron 2778 organismos representados por 12 órdenes, 24 familias y 34 géneros. En la estación 1 las familias más abundantes fueron: Hydropsichidae (*Smicridia*) y Baetidae (*Baetodes*); en la estación 2, Hydropsichidae (*Smicridia*), Baetidae (*Baetodes*) y Hyallelidae (*Hyallela*); en la estación 3, Lymnaeidae, Hydropsichidae (*Leptonema*) y Planariidae; en la estación 4, Lymnaeidae y dos subfamilias de la familia Chironomidae (*Ablapsemya* y *Orthocladinae*). Los análisis microbiológicos reportaron que en la zona 3 y 4 hay presencia de coliformes fecales. Se concluye que el río Ingenio presenta aguas de buena calidad en las estaciones 1 y 2, de regular en la estación 3 y muy contaminada en la estación 4.

## ABSTRACT

The use of aquatic macroinvertebrates as bioindicators to determine the quality of the water of the river The Genius, is a method reliable and little costs that allows to have a nearer idea to the reality of the prevailing conditions in a source of water. Presently work is analyzed the quality of the water of the river Genius, with base in the presence of aquatic macroinvertebrates, mensuration of parameters fisicoquímicos and microbiológicos, from its birth until its outlet. Parameters fisicoquímicos like temperature were measured, pH, flow, CO<sub>2</sub> and alkalinity in situ and in the laboratory of waters, the other ones as: conductivity, hardness, chlorides, nitrates, saltpeters, ammonium, sulfates, phosphates, iron, total solids, suspended solids, DBO<sub>5</sub> and DQO; also the analyses microbiológicos to detect the presence of total and fecal coliformes.

The parameters CO<sub>2</sub> and OD, dissolved solids, saltpeters, sulfates, phosphates, DBO<sub>5</sub> and DQO, are above that allowed (station 3 and 4) for this source of drinkable water, being the saltpeters, DBO and DQO the affected parameters.

They were 2778 organisms represented by 12 orders, 24 families and 34 goods. In the station 1 the most abundant families were: Hydropsichidae (Smicridia) and Baetidae (Baetodes); in the station 2, Hydropsichidae (Smicridia), Baetidae (Baetodes) and Hyallelidae (Hyalleya); in the station 3, Lymnaeidae, Hydropsichidae (Leptonema) and Planariidae; in the station 4, Lymnaeidae and two subfamilias of the family Chironomidae (Ablapsemya and Orthocladinae). The analyses microbiológicos reported that in the area 3 and 4 there is presence of fecal coliformes. You concludes that the river Genius presents waters of good quality in the stations 1 and 2, of regulating in the station 3 and very polluted in the station 4.

## INTRODUCCIÓN

Vannote<sup>1</sup> en 1980 introdujo el concepto de río continuo, el cual se refiere a los cambios que se llevan a cabo en las comunidades lólicas agua abajo y de manera gradual, desde el nacimiento hasta la desembocadura del río. Así mismo los cambios geomorfológicos sucesivos van siendo acompañados de cambio fisicoquímicos del agua, lo cual trae como consecuencia el establecimiento de comunidades específicas adaptadas a cada hábitat particular

La calidad del agua de cualquier fuente se puede ver afectada por la adición de sustancias extrañas impidiendo de esta manera los innumerables beneficios que pueden aportar, tanto para consumo del hombre como de los animales, para aseo personal, riego de cultivos y recreación. Actualmente se han venido utilizando además de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos convencionales para estudiar su grado de contaminación, un método confiable y poco costoso, es el uso de los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua. Este aspecto biológico ha adquirido una creciente importancia en el estudio de los ecosistemas acuáticos, debido a que las variables fisicoquímicas sólo dan una idea puntual sobre la calidad del agua y no informan las variaciones en el tiempo. Las características de las comunidades acuáticas actúan como testigos a nivel de deterioro ambiental a través de las corrientes superficiales. Específicamente los macroinvertebrados acuáticos fueron propuestos hace varias décadas como indicadores de calidad de agua.

El río Ingenio es el más importante dentro de la microcuenca, el Ingenio, por ser una fuente directa de suministro de agua potable para los habitantes del sector urbano y algunas veredas del municipio de Sandoná, además, esta fuente es utilizada para la generación de energía para el Corregimiento de El Ingenio, es utilizada también en actividades agropecuarias típicas de la región como son el beneficio del café y el cultivo de caña, razón por la cual es importante realizar su caracterización y determinar la variación de la calidad del agua. Por lo tanto los resultados del presente estudio permiten establecer a partir del análisis físico - químico, biológicos y bacteriológicos los diferentes grados de contaminación en cada estación y determinar las causas con el fin de hacer la recomendaciones correspondientes.

---

<sup>1</sup> VANNOTE, R. The River Continuum Concept. Fish. Akuat. Sci. Vol. 37. Canadá. 1980, p. 130 - 137.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 GENERAL**

✍ Determinar la calidad del agua del Río Ingenio, Municipio de Sandoná, mediante parámetros fisicoquímicos, biológicos y bacteriológicos.

### **1.2 ESPECÍFICOS**

✍ Mediante los resultados de los análisis fisicoquímicos, biológicos y bacteriológicos, comparar y analizar la calidad del agua por medio del método estadístico Kruskal Wallis y una prueba a posteriori “Tipo Tukey”, en los cuatro puntos de muestreo a lo largo de la quebrada.

✍ Determinar la diversidad y similitud de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en las cuatro estaciones de muestreo.

✍ Establecer la relación entre macroinvertebrados acuáticos y parámetros físico-químicos.

✍ Plantear algunas recomendaciones que nos permitan el mejoramiento y preservación de la microcuenca.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 FUENTES HÍDRICAS TROPICALES

Roldan<sup>2</sup> dice que Los ríos tropicales se caracterizan por su tamaño y volumen de agua; la mayoría de los ríos neotropicales nacen en la cordillera de los Andes, mediante procesos de deshielo y por las altas precipitaciones fluviales. Algunos nacen cerca de los volcanes donde las sales que arrastran pueden producir ríos con Ph de 1,5, como el río Vinagre en Colombia.

Branco<sup>3</sup> explica que en las regiones de bosques tropicales donde hay lluvias todo el año, el volumen de agua de los ríos se mantienen mas o menos constante, pero en regiones áridas donde solo llueve una o dos veces al año, los cauces permanecen secos durante varios meses. Los ríos tropicales en regiones bajas forman meandros a partir de los cuales se forman futuros lagos.

Bohorquez y Ardila<sup>4</sup> dicen que una característica de los ríos tropicales, es el transporte de gran cantidad de sedimentos, debido al efecto de las precipitaciones sobre las zonas deforestadas. El agua de estos ríos contienen por lo regular pocos nutrientes debido a que bañan suelos en los cuales los ciclos biogeoquímicos se cumplen mas rápidamente por su alta temperatura y humedad a lo largo de todo el año. Los nutrientes están por lo tanto en la biomasa, por esto, la oligotrofia del agua es un reflejo de la pobreza de los suelos.

Para Margalef<sup>5</sup> el río es un ecosistema bajo tensión, que está sobrealimentado y que exporta parte de sus materiales manteniendo un ciclo relativamente acelerado. El flujo del río es turbulento, su velocidad varía de un punto a otro y las direcciones del flujo no son estrictamente paralelas. El agua erosiona, levanta y transporta los materiales del cause. La distribución del material en suspensión no es uniforme y no sólo porque se está sedimentando continuamente, sino también porque las capas del río más ricas en material

---

<sup>2</sup> ROLDAN, Gabriel. Op. cit., p.25.

<sup>3</sup> BRANCO, S. Limnología sanitaria. Estudio de la polución de aguas continentales OEA. Programa nacional de desarrollo científico y tecnológico. Washington : 1997, p. 234.G

<sup>4</sup> BOHÓRQUEZ, Amparo, y ARDILA, Luis. Ecología de Aguas Continentales: manual.: postgrado de Ecología, Medio Ambiente y Desarrollo. UNINCCA. Santa Fe de Bogotá : 1996, p.49.

<sup>5</sup> MARGALEF, Ramon. Limnología. Barcelona : Omega. 1983, p. 711-760.

en suspensión se comporta como un fluido más denso y no se mezclan rápidamente con otras capas. Ruiz<sup>6</sup> menciona que la composición química del agua de los ríos refleja la naturaleza de las rocas y el grado de madurez de los suelos emergidos. La tendencia general a lo largo del cauce, es el aumento de la mineralización y estabilización de la composición química, a medida que aumenta la superficie drenada.

## 2.2 CONTAMINACIÓN

Para Roldan Velásquez y machado<sup>7</sup> la contaminación del agua es el resultado de cualquier adición al ciclo natural de la misma, que altera su calidad en grado tal que atenta contra la vida en el agua o restringa sus usos. Las impurezas del agua pueden ser sólidas líquidas o gases, y pueden estar presente en forma suspendida, coloidal o disuelta, y las fuentes de contaminación pueden ser agrícola, urbana e industrial. Desde el punto de vista ecológico Branco<sup>8</sup> hace referencia a que la calidad del agua tiene una connotación un poco diferente a la requerida para usos domésticos, agrícolas e industriales. La calidad del agua de un ecosistema acuático natural puede ser muy diverso; ciertos ecosistemas, a pesar de tener concentraciones elevadas de sales, durezas y alcalinidades, y valores de Ph muy ácidos o muy básicos, pueden tener comunidades estables adaptadas a vivir en dichos medios. En estos casos, la calidad del agua depende fundamentalmente de aportes naturales dados por las lluvias y la naturaleza química del terreno. Para Hynes<sup>9</sup>, los efectos biológicos de la contaminación se miden a través del cambio que experimentan las comunidades a medida que reciben descargas de deshecho de diferente orden. Hynes discute estos cambios a lo largo de una corriente, dice que una fuente de contaminación puede provocar una disminución de oxígeno disuelto y un aumento de amoníaco y fósforo en el agua. Bajo estas condiciones se desarrollan altas poblaciones de hongos, bacterias, tubífidos, protozoos. A medida que el medio comienza a recuperarse, aumenta el oxígeno, disminuyen los nitratos, el amoníaco y el fosfato y empiezan a aparecer poblaciones de algas verdes y una fauna diversa de macroinvertebrados. Roldán *et al.*,<sup>10</sup> Encontraron en el río Medellín drásticos cambios en la estructura de las comunidades, pasando éstas de 14 géneros en el tramo del río relativamente limpio a 1 (*Tubifex*) en el tramo más contaminado, notándose como la estructura de la comunidad aumenta cuando el río comienza a recuperarse.

---

<sup>6</sup> RUIZ, Enrique. Calidad del agua en Colombia. HIMAT. Bogotá : 1988, p. 94.

<sup>7</sup> ROLDAN, Gabriel; VELÁSQUEZ, Fernando, y MACHADO Tito. Ecología La ciencia del ambiente. Bogotá : Norma. 1981., p. 130.

<sup>8</sup> BRANCO, S. 1984.Op. cit., p. 258.

<sup>9</sup> HYNES, H. The biology of polluted waters. University of Toronto. Press Ontario : 1974, p. 451.

<sup>10</sup> ROLDAN, G. ; TRUJILLO, C. y SUÁREZ, A. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. En : Actualidades Biológicas Vol. 2. No.5. Medellín : 1973, p. 54 - 59.

Más tarde Mathías y Moreno<sup>11</sup> corroboraron esta situación con un estudio fisicoquímico y biológico del río Medellín desde su nacimiento hasta unos kilómetros antes de su desembocadura, escogiendo 8 estaciones de muestreo. El análisis de esta información les permitió observar que las estaciones 1 y 2 presentan buena calidad del agua, se empieza a deteriorar en la estación 3 y se agrava mucho más en la estación 4, notándose una leve recuperación en la estación 8.

Bohorquez y Ardila<sup>12</sup> contribuyeron por bioindicación con macroinvertebrados bentónicos en los afluentes Barandillas y río frío de la zona media del río Bogotá, tomaron 2 estaciones de muestreo en cada río, además determinaron parámetros fisicoquímicos para establecer la calidad de estos cuerpos de agua y encontraron que estas se encuentran entre moderadamente contaminada hasta altamente contaminada, siendo la estación 1 del río Frío de carga contaminante moderada. La estructura de la comunidad, el índice de diversidad y el déficit de especies, permiten concluir que las aguas de los ríos Barandillas y Frío contienen una contaminación orgánica entre moderada y muy alta, lo cual se corrobora por la presencia de familias como: Daphnidae, Shaeriidae, Physidae, Chironomidae y Tubificidae.

Zúñiga, *et al.*,<sup>13</sup> realizaron un estudio de indicadores ambientales de calidad de agua en el Valle del Cauca, donde encontraron que en la parte alta de la cuenca de los ríos en estudio exhiben los mejores índices de calidad de agua; la zona que representa la cuenca media, presentó contaminación bacteriológica alta, y la parte baja de la corriente, la cual es reservorio de aguas residuales domésticas e industriales de las ciudades que atraviesa, muestran el deterioro del ecosistema en las partes bajas, donde la contaminación es elevada. Con respecto a los macroinvertebrados colectados, se encontró que las cuencas de los ríos Cali y Meléndez, se caracterizan por poseer una diversidad en la fauna bentónica, con predominio de los estados inmaduros de insectos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera principalmente. A medida que los ríos avanzan en su recorrido, se observan que las poblaciones de Ephemeroptera disminuyen drásticamente.

---

<sup>11</sup> MATHIAS, U. y MORENO, H. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos del río Medellín y sus principales afluentes. En : Actualidades Biológicas. Vol. 12. No. 46. Medellín : 1983, p. 106-117

<sup>12</sup> BOHÓRQUEZ, Amparo y ARDILA, José Luis. Estudio de la calidad de agua en cuatro estaciones localizadas en los ríos Barandillas y Frío, afluentes del río Bogotá. En : Rev. Científica UNINCCA. Vol. 3. No. 1. Bogotá : 1997, p. 7-11.

<sup>13</sup> ZÚÑIGA, Maria del Carmen; HERNÁNDEZ, Ángela y CAICEDO, Guadalupe. Indicadores ambientales de la calidad del agua en la cuenca del río Cauca. En : Revista Científica AINSA. Vol. 3. No. 12. Bogotá : 1998, p. 17.

Riss, Ospina y Gutierrez<sup>14</sup> establecieron unos valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la sabana de Bogotá, ellos presentan una metodología que permite el establecimiento de un sistema de bioindicación biológico para la contaminación orgánica de aguas corrientes, sobre la base de macroinvertebrados acuáticos.

Caicedo y Palacio<sup>15</sup> establecieron el efecto de la contaminación orgánica sobre la fauna béntica de la quebrada la Mosca en el oriente del departamento de Antioquia, realizaron algunas variables fisicoquímicas y de macroinvertebrados en 3 estaciones, encontrando drásticos cambios a la macrofauna en zonas contaminadas por materia orgánica.

Quiñónez *et al.*,<sup>16</sup> hicieron 6 muestreos en la zona del ritral del río Medellín, con la finalidad de establecer el patrón de deriva de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en esta zona del río. Concluyeron entonces que la deriva presentó un patrón a periódico y se ajusta al tipo conductual pasivo, aunque no descartan la influencia de otro tipo de deriva. Los resultados que obtuvieron no concuerdan con el patrón diario de la deriva hallado en otras investigaciones.

Vergara *et al.*,<sup>17</sup> realizaron un inventario de la entomofauna acuática de la quebrada Padilla en Honda Tolima, encontraron 32 familias, 26 géneros y 36 especies.

Otros trabajos se realizaron en el 2000 en el volcán Chiles, por Hare y Ramsay<sup>18</sup> efectuaron muestreos de la comunidad de macroinvertebrados de pastizal zonal de páramo del volcán Chiles en 5 altitudes. Encontrando una discontinuidad en la distribución de las especies, fue evidente alrededor de los 4000 m.s.n.m., la diversidad de especies cambió drásticamente por arriba de esta altitud.

---

<sup>14</sup> WOLFANG, Riss; OSPINA, Rodolfo y GUTIÉRREZ, Juan. Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la Sabana de Bogotá. *En* : Caldasia. Vol. 24. No. 1. Bogotá : 2002, p.135-156.

<sup>15</sup> CAICEDO, Orlando y PALACIO, Jaime. Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada la Mosca (Guarne, Antioquia). *En* : Actualidades Biológicas. Vol. 20. No. 69. Medellín : 1998, p. 61-73.

<sup>16</sup> QUIÑONES, Martha; RAMÍREZ, John Jairo y DÍAZ, Abel. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivadores en la zona del ritral del río Medellín. *En* : Actualidades Biológicas. Vol. 20. No. 69. Medellín : 1998, p 75-86.

<sup>17</sup> VERGARA, Rodrigo; GÓNGORA, Francisco; PRIETO, Miguel y GALEANO, Pedro. Inventario de la entomofauna acuática, fuente del acueducto de Honda (Tolima). *En* : Revista Colombiana de Entomología, Vol. 20 No. 2. p. 115- 123.

<sup>18</sup> HARE, Jonathan y RAMSAY, Paul. Aquatic invertebrate communities of Ecuadorian waterfall pools: the effects of altitude an associated variables. The ecology of volcán Chiles: high-altitude ecosystems on the Ecuador - Colombia. Border. Plymouth pebble & Shell. 2000. p., 193 - 199.

## 2.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos son las medidas establecidas por la ley para determinar el estado y calidad del agua ya sea para consumo humano, doméstico, riego u otras utilidades que esta no pueda brindar. Para Roldán, Velásquez y Machado<sup>19</sup> en los trópicos, la **Temperatura** del agua permanece más o menos constante todo el año y su grado de calor depende de la altura sobre el nivel del mar. Un cambio de temperatura puede ser fatal para muchas especies, en especial para aquellos cuyos rangos de temperatura permanecen mas o menos constantes durante todo el año. Un aumento de este parámetro, disminuye la concentración de Oxígeno y puede causar la muerte a muchos organismos poco tolerantes a estos cambios. Ramírez y Pringle<sup>20</sup> hacen referencia con respecto a que la **Temperatura** es una variable muy importante en el medio acuático, pues influye en el metabolismo de las especies, como productividad primaria, reexploración de los organismos y descomposición de la materia orgánica. Cuando se eleva la temperatura se produce una proliferación , y, por consiguiente intensa absorción de nutrientes disueltos; cuando la temperatura descende se produce el efecto contrario. Según Roldán<sup>21</sup> la **Alcalinidad** del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos, se debe a componentes de bicarbonato, carbonato e hidróxidos de un agua natural o tratada. Se mide por titulación y se expresa en forma de CaCO<sub>3</sub> Para el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM)<sup>22</sup> el aumento o disminución del pH, determina un incremento o disminución de los bicarbonatos o carbonatos en el agua, por lo tanto mediante la alcalinidad se puede saber con bastante exactitud la proporción de los estados del CO<sub>2</sub>. Estévez<sup>23</sup> señala que las aguas con altos valores de alcalinidad son consideradas indeseables a causa de la excesiva dureza y grandes concentraciones de sales. Aguas con baja alcalinidad, tienen poca capacidad como buffer y son susceptibles a la acidificación (bajo pH). Slack<sup>24</sup> señala que el **pH** mide el grado de acidez o basicidad de una muestra de agua, para ello se utiliza un medidor de pH. El carácter ácido o básico del agua está dado por la concentración de los iones hidrógeno presentes y se mide en unidades que van de 0 a 14.

---

<sup>19</sup> ROLDAN, Gabriel; VELÁSQUEZ, Fernando y MACHADO, Tito. Op cit., p. 191.

<sup>20</sup> RAMIREZ, Amparo y PRINGLE, C. Invertebrate drift and benthic community dynamics in a lowland neotropical stream. Hidrobiología. Costa Rica : 1988, p. 19.

<sup>21</sup> ROLDAN, Gabriel. Estado actual de la Limnología en Colombia. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá : 1994, p. 23.

<sup>22</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. El medio ambiente en Colombia. Bogotá: IDEAM. 1998, p. 204.

<sup>23</sup> ESTÉVEZ, Frank. Fundamentos de limnología. Interciencia, Río de Janeiro : 1982, p. 420.

<sup>24</sup> SLACK, John. River water quality in Essex during and after the 1976 drought. Effluent Treatment. Vol. 17. 1977, p. 575 - 578.

- **Efectos de las alteraciones del pH en los ecosistemas.** De acuerdo con Palacio<sup>25</sup> un descenso de pH a 4 provoca el incremento en la concentración de iones metálicos como aluminio, calcio, magnesio y potasio en el agua, además de tener efectos corrosivos en las tuberías, desprendiendo iones de plomo, cobre, cadmio y zinc en el agua potable; una vez movilizados estos iones están disponibles para ser absorbidos por los organismos. Concentraciones de 0.1 – 0.3 mg/l de aluminio, produce retardo en el crecimiento, la maduración gonadal y la producción de huevos en los peses. También se ha encontrado incremento en la emergencia de plecópteros y disminución efemerópteros, aumento en la biomasa del perifiton y migración de truchas, buscando valores de pH mas altos. La acidificación también inhibe la actividad microbiana del bentos reduciendo la velocidad de descomposición y el reciclaje de nutrientes, con la consecuente disminución de la oferta alimenticia en la cadena trófica. Las principales fuentes de disminución del pH, son la deposición seca de óxidos de nitrógeno y azufre, la lluvia ácida, los efluentes de minas de hierro y carbón principalmente. Estévez<sup>26</sup> considera que los altos valores de pH tienden a facilitar la solubilización de amonio, metales pesados y sales. La precipitación de sales carbonatadas se dan cuando los niveles de pH son altos. Bajos niveles de pH tienden a incrementar concentraciones de dióxido de carbono y el ácido carbónico. Los efectos letales por pH en la vida acuática ocurren cuando este se encuentra por debajo de 4.5 y por encima de 9.5.

Cole<sup>27</sup> dice: La medida de la **Conductividad** indica la cantidad de iones presentes en el agua y se expresa en mg/l o micromhos/cm<sup>2</sup>. El agua normal debe tener de 20 a 30 mg/L de NaCl; en general una alta conductividad indica baja diversidad de especies. Según Rodier<sup>28</sup> los intervalos de conductividad eléctrica de las aguas superficiales varían de 10 a 1000<sup>?</sup>S/cm, pero pueden exceder los 1000<sup>?</sup>S/cm, especialmente en aguas contaminadas que reciben una gran cantidad de escorrentía. La conductividad está relacionada con las zonas de contaminación alrededor de una descarga de un efluente y su seguimiento puede ser utilizado para estimar la extensión de la influencia de las aguas de escorrentía; los valores asumidos por esta variable determinan su uso potencial debido a que la influencia de las actividades domésticas e industriales modifican los valores naturales, produciendo cambios en la capacidad del uso del agua y en la viabilidad de los recursos hidrobiológicos. Cole<sup>29</sup> afirma que el **Amonio** se puede considerar como constituyente normal de las aguas superficiales, pero en cantidades superiores a 0,1 mg/l, puede ser indicador de

---

<sup>25</sup> PALACIO, John. Die benthische. Makroinvertebrates der troches Astuarregión Cienaga Grande Santa Marta (Kolumbien) un ihre activitat im wechsel Zwisthen trocken un regenzeit. Diss. Dr Univ Bochun. Alemania Federal : 1983, p. 235.

<sup>26</sup> ESTÉVEZ, Frank. Op cit., p. 423.

<sup>27</sup> COLE, Gerarld. Manual de limnología. Montevideo : Hemisferio sur, 1988, p. 303.

<sup>28</sup> RODIER, J. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar. Barcelona : Omega, 1981, p. 66.

<sup>29</sup> COLE. Op cit., p. 285.

contaminación por aguas servidas o de residuos industriales. El amoníaco puede estar presente como tal o como ión amonio, el cual puede volver a condiciones del amoníaco a variar el Ph de básico, tornándose tóxico al medio. Wetzel<sup>30</sup> dice que el amonio es el producto de la descomposición de la materia orgánica realizada por las bacterias heterótrofas, a partir de los compuestos orgánicos nitrogenados. Roldán<sup>31</sup> nos dice que los valores de amonio para aguas oligotróficas están entre 0.1 y 0.2 mg/l, concentraciones inferiores a 0.25 mg/l de amonio, afectan el crecimiento de los peces y valores superiores a 0.5 mg/l se consideran letales. Según Roldán<sup>32</sup> la forma más común de encontrar azufre en el agua es como **Sulfatos** (SO<sub>4</sub>), este entra en el agua a través de la lluvia y por disolución de rocas que contengan compuestos tales como sulfato de calcio y sulfato de hierro. Para el Ministerio de Salud<sup>33</sup> los sulfatos son los aniones más importantes después de los carbonatos, los sulfatos en las aguas naturales varían en valores que van desde los 2 a los 180 mg/l, aunque pueden alcanzar valores de hasta 1.000 mg/l en zonas próximas a descargas industriales o regiones áridas, en aguas para el consumo humano se recomienda no sobrepasar los 250 mg/l.

**Sólidos totales.** Para Wetzel<sup>34</sup> estos parámetros sirven para conocer las relaciones edáficas y la productividad en un cuerpo de agua e indica la concentración total de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales. El incremento exagerado afecta notablemente la biota presente en el agua y además influye en la transparencia y el color del agua.

Rodier<sup>35</sup> comenta que los sólidos totales corresponden a la suma de los sólidos disueltos, los suspendidos y los sedimentables; su incremento exagerado afectan notablemente la biota presente en el agua y además influye en la transparencia y el color de la misma. **Sólidos suspendidos.** Según Wetzel<sup>36</sup> todos los cuerpos de aguas naturales poseen una acción de transparente, ya sea por arrastre, suspensión o dilución, partículas entre 200 y 0,01 micras permanecen en suspensión, las menores de 0,01 se consideran como **sólidos disueltos**.

---

<sup>30</sup> WETZEL, Robert. Limnología. Barcelona : Omega, 1981, p. 288.

<sup>31</sup> ROLDAN. Op cit., p. 310.

<sup>32</sup> ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín : Universidad de Antioquia, 1992, p. 283.

<sup>33</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1594: Usos del agua y residuos líquidos. Ministerio de Salud, 1984, p. 70.

<sup>34</sup> WETZEL. 1981. Op. cit., p. 46 – 47.

<sup>35</sup> RODIER. 1981. Op. cit., p.66.

<sup>36</sup> WETZEL. 1981. Op. cit., p. 48.

Wetzel<sup>37</sup> indica que el **Oxígeno disuelto** es el parámetro más importante aparte del agua misma. El Oxígeno disuelto evidentemente es esencial para el metabolismo de todos los organismos que presentan una respiración aerobia. La solubilidad del Oxígeno se ve afectada de manera no lineal por la temperatura, aumentando considerablemente al disminuir la temperatura del agua. Roldán<sup>38</sup> define que la fuente principal del Oxígeno disuelto es la fotosíntesis. En los ríos muy torrentosos el agua se oxigena directamente por contacto con el aire. La cantidad de Oxígeno disuelto en el agua varía normalmente entre 8 y 9 mg/l, para aguas tropicales, esos valores se pueden incrementar por efectos de una superpoblación de algas o se puede disminuir por efectos de exceso de descomposición de materia orgánica en el agua. Se considera que valores por debajo de 5 mg/l comienzan a ser letales para muchos organismos acuáticos, aunque no todos demandan la misma cantidad de Oxígeno para sobrevivir. Algunos toleran rangos muy amplios de concentración de Oxígeno, y otros mueren a cambios muy bajos de concentración. De acuerdo con Roldán<sup>39</sup> el **Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**, presenta múltiples formas, al ponerse en contacto con el agua forma ácido carbónico. La cantidad de CO<sub>2</sub> se regula por la calidad fotosintética o producción primaria de un cuerpo de agua. Las principales fuentes de CO<sub>2</sub> en el agua son: el agua lluvia, carbonatos del suelo, descomposición anaerobia de los carbohidratos y la respiración de los organismos. El Dióxido de Carbono se encuentra en el agua en concentraciones que varían entre 4 y 8 mg/l, se pueden incrementar por exceso de respiración y oxidación de la materia orgánica y disminuir por exceso de acción fotosintética. El CO<sub>2</sub> es uno de los factores que más cambia la química del agua.

Vallentyne<sup>40</sup> afirma que la **DBO (Demanda biológica de Oxígeno)** se utiliza para determinar la cantidad aproximada de Oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Para Rodier<sup>41</sup> una DBO de 1 parte por millón (ppm) es una característica de agua casi pura, y una pureza dudosa cuando llega a 5 ppm. Las aguas residuales municipales sin tratar, pueden presentar una gama de 100 a 400 ppm. de DBO. Aguas de hasta 20 mg/l de DBO son aptas para consumo humano. Según Vallentyne<sup>42</sup> la **DQO (Demanda química de Oxígeno)**, siempre es mayor que la DBO, porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológica y las condiciones oxidantes son más severas. Margalef<sup>43</sup> afirma que la prueba **DQO**, es la medida de carga orgánica presente en una muestra, en general todos los

---

<sup>37</sup> Ibid., p.113.

<sup>38</sup> ROLDAN.1992. Op. cit., p. 192.

<sup>39</sup> ROLDAN, Op cit., p.38.

<sup>40</sup> VALLENTYNE, John. Introducción a la limnología. Barcelona : Omega, 1978, p. 102.

<sup>41</sup> RODIER. 1981. Op. cit., p.52.

<sup>42</sup> VALLENTYNE. Op. cit., p. 190 - 191.

<sup>43</sup> MARGALEF. Op. cit., p. 266.

compuestos orgánicos pueden ser oxidados hasta CO<sub>2</sub> por agente oxidantes de naturaleza química. Por tanto, es un parámetro muy utilizado para determinar la calidad de agua. Se ha establecido una fórmula que relacione la DBO<sub>5</sub> con la DQO para indicar el porcentaje de contenido orgánico susceptible de oxidarse en 5 días, si la relación se aproxima al 80% indica que la mayor parte de la materia orgánica es biodegradable rápidamente:

$$\frac{\text{DQO}}{\text{DBO}_5} \times 100$$

Según Cole<sup>44</sup> se entiende como **Dureza** de las aguas naturales el contenido total de las sales disueltas de calcio y magnesio; la dureza total es la suma de la dureza temporal (carbonatos) y la dureza permanente (sulfatos, magnesio); la dureza se expresa en mg/l de CaCO<sub>3</sub>. Roldán<sup>45</sup> propuso una clasificación de las aguas en poco productivas, medianamente productivas y muy productivas de acuerdo con los valores de dureza:

- ✍ Aguas poco productivas: menos de 10 mg. l<sup>-1</sup> de calcio.
- ✍ Medianamente productivas: van entre 10 y 25 mg. l<sup>-1</sup>.
- ✍ Aguas muy productivas que poseen superiores a los 25 mg. l<sup>-1</sup>

Ruiz<sup>46</sup> explica que los **Cloruros** ocupan el tercer lugar en porcentaje de los aniones en el agua debido a que están representados por lo regular en forma de Cloruro de Sodio, estos expresan en gran parte la salinidad del agua. Su abundancia varía de un ecosistema a otro, por lo general las aguas de lagos y ríos de montaña presentan contenidos muy bajos de cloruros (<5 mg/l), en cambio los ríos en las partes bajas incrementan su contenido debido a los minerales que son arrastrados por las lluvias. Los ríos contaminados por materia orgánica incrementan considerablemente sus valores debido a excretas humanas, especialmente la orina. La concentración de cloruros es quizás el parámetro que más influye en la distribución de los organismos acuáticos, por cuanto estos tienen que vencer la presión osmótica por ellos ejercida.

---

<sup>44</sup> COLE. Op. cit., p. 307.

<sup>45</sup> ROLDÁN. Op. cit., p 282.

<sup>46</sup> RUIZ, Elena. Calidad del agua en Colombia. Bogotá. HIMAT, 1988. p. 94.

De acuerdo con Roldán<sup>47</sup> el ciclo del **Fósforo**, por lo menos en la mayoría de las aguas epicontinentales, ha sido profundamente modificado por el hombre durante los últimos años. No solo ha aumentado el fósforo procedente de la mineralización de toda clase de residuos, sino que se han añadido los poli fosfatos usados por muchos en productos como detergentes, también se ha reafirmado el papel regulador del fósforo en relación con el problema de la eutrofización. El hombre también está agregando Fósforo a los ecosistemas acuáticos a través de los fertilizantes utilizados en la agricultura. Wetzel<sup>48</sup> afirma que la única forma inorgánica significativamente importante del Fósforo es el Ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Una proporción muy importante, más del 90% del Fósforo del agua, está en forma de fosfatos orgánicos y como constituyentes celulares de la materia viva. Margalef<sup>49</sup> dice que ecológicamente hablando el Fósforo se considera a menudo como el factor más crítico en el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos que junto con el Nitrógeno son los principales determinantes de la productividad de cualquier sistema lótico o léntico

Para Roldán<sup>50</sup> los valores de **Nitritos y Nitratos** muy bajos en los arroyos de las altas montañas andinas, son debido a que las aguas corren por los lechos pobres en nutrientes y regiones no perturbadas por el hombre. Pero a medida que llega a las partes bajas andinas, el valor de los nutrientes aumenta considerablemente debido al arrastre de sedimentos por las lluvias en los suelos erosionados, por el vertimiento de contaminantes domésticos e industriales que se hace a estos ríos en Colombia y por actividad agrícola. Según Wetzel<sup>51</sup> el Nitrógeno de las aguas dulces se presenta bajo diversas formas:  $\text{N}_2$  disuelto, gran número de compuestos orgánicos desde aminoácidos y aminos hasta proteínas y compuestos húmicos resistentes con poco Nitrógeno, Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). El origen del  $\text{N}_2$  puede ser: precipitación sobre la superficie, fijación del  $\text{N}_2$  tanto en el agua como en los sedimentos y aportes debido al drenaje superficial y subterráneo en las aguas superficiales no contaminadas, los valores del Nitrógeno en forma de Amonio ( $\text{NH}_4 - \text{N}$ ) puede oscilar de 0 hasta 5 mg/l.

Conforme a Roldán<sup>52</sup> en los medios acuáticos los compuestos férricos comunes son insolubles; por lo tanto, el **Hierro** precipita en condiciones alcalinas y oxidadas. A valores de ph de 7,5 a 7,7 se alcanza un umbral en el cual el hierro precipita automáticamente en forma de hidróxido férrico. Esto significa que no se encontrará hierro excepto en aguas ácidas o neutras, con bajo contenido de oxígeno. Cuando la circulación introduce oxígeno,

---

<sup>47</sup> ROLDAN. Op cit., p. 282.

<sup>48</sup> WETZEL. Op. cit., p. 197.

<sup>49</sup> MARGALEF. Op. cit., p. 95.

<sup>50</sup> ROLDAN. Op. cit., p.308.

<sup>51</sup> WETZEL. Op cit., p. 170 -172.

<sup>52</sup> ROLDAN. Op cit., p. 290.

el hierro se oxida y precipita; esto sucede principalmente en ríos contaminados por desechos ácidos de minas de carbón.

## 2.4 INDICADORES BIOLÓGICOS

La evaluación de la calidad del agua se ha realizado tradicionalmente basada en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, sin embargo en los últimos años muchos países han aceptado la inclusión de las comunidades acuáticas como un hecho fundamental para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos. El estado de conocimiento que se tiene en Colombia y general en el neotrópico de la fauna de macroinvertebrados acuáticos, aún no permite llegar a un refinamiento del sistema de evaluación, como sí se tiene en Los Estados Unidos y en Europa donde se dispone de claves hasta el nivel de género y especie para la mayor parte de fauna existente en estos países. Para Roldán<sup>53</sup> el uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua se basa en el hecho de que dichos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias están adaptados. Cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejará, por lo tanto, en las estructuras de las comunidades que allí habitan. Amparo y Ardila<sup>54</sup> revelan que dentro de la limnología estos indicadores juegan un papel importante por determinar la frecuencia de un organismo en un ambiente, y bajo ciertas condiciones autoecológicas y sinecológicas, permite al investigador hacer inferencias sobre las condiciones ambientales del medio en que se encuentran.

Roldán, Posada y Gutiérrez<sup>55</sup> consideran que un organismo es un buen indicador de calidad de agua cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de característica definida y cuando su población es porcentualmente superior o similar al resto de los organismos con los cuales comparten el mismo hábitat. Igualmente, un buen indicador es aquel que es abundante y que tiene amplia distribución geográfica. Así por ejemplo, en los ríos de alta montaña, de aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de efemerópteros, tricópteros y plecópteros; pero también se espera encontrar en menor proporción odonatos, hemípteros, dípteros, neurópteros y otros grupos menores. Por el contrario, en aguas que están siendo contaminadas con materia orgánica de aguas turbias, con poco Oxígeno y eutrofizadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de oligoquetos, chironómidos y ciertos moluscos; pero ocasionalmente pueden encontrarse algunos pocos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias. En situaciones intermedias, en aguas que comienzan a tener síntomas de contaminación o por el contrario que comienzan a recuperarse, es común encontrar poblaciones dominantes de turbelarios, hirudíneos y

---

<sup>53</sup> Ibid., p. 45 - 46.

<sup>54</sup> BOHÓRQUEZ, Amparo y ARDILA, José. 1997. Op cit., p. 15 - 28.

<sup>55</sup> ROLDAN, Gabriel; POSADA, José, y GUTIÉRREZ, Carlos. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. Bogotá: Guadalupe, 2001, p. 37.

ciertos moluscos (Lymnaeidae y Physidae), Chironomidae y Oligoquetos, mezclados en menor proporción con ciertos efemerópteros y tricópteros.

**2.4.1 Índices de diversidad.** Cole<sup>56</sup> define la diversidad como dos componentes principales: riqueza específica, que se refiere al número de especies en una muestra, comunidad o hábitat, y equitabilidad o uniformidad con la que los individuos están distribuidos entre las especies. Roldán<sup>57</sup> para la determinación de la diversidad da a conocer diferentes índices que difieren entre si en los supuestos referentes a la abundancia relativa de las especies, a la susceptibilidad a diferentes tipos de cambios de la estructura de la comunidad y al grado de independencia respecto al tamaño de la muestra. Los diferentes índices de diversidad de especies reflejan no solamente la distribución de estas, sino también la importancia de cada especie en la comunidad. Entre las más destacadas están la función de Shannon-Wiener. Este índice refleja la igualdad, mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen la comunidad, mayor es el valor, independientemente del tamaño de la muestra resultando una buena medida de la diversidad ecológica. Según el Manual de Métodos y Procedimientos<sup>58</sup> el índice de Shannon-Wiener se emplea en comunidades o taxocenosis a las cuales se les ha determinado las especies presentes y sus respectivas abundancias. Roldán<sup>59</sup> indica otro índice de diversidad como el de Simpson, el cual se basa en la dominancia, representado parámetros inversos a la uniformidad o equidad de la comunidad y por tanto, toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia, sin evaluar la contribución del resto de las especies.

Según el manual de métodos y procedimientos<sup>60</sup> el índice de Simpson se emplea en comunidades a las cuales se les ha determinado.

**2.4.2 Índice de similitud.** Según Moreno<sup>61</sup> el índice más usado para determinar la similitud entre especies es el índice de Jaccard, que permite establecer entre las comunidades presentes en 2 estaciones. No tiene en cuenta la abundancia de las especies sino tan solo su presencia o ausencia. Estos índices están diseñados para ser igual a 1 en caso de similaridad completa e igual a 0 en comunidades sin especies en común.

---

<sup>56</sup> COLE. Op. cit., p. 85.

<sup>57</sup> ROLDAN. Op. cit., p. 59.

<sup>58</sup> MANUAL DE MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS. Sistema de monitoreo de áreas forestales del Pacífico colombiano. Bogotá : 1999, ficha. E - 080.

<sup>59</sup> ROLDAN. Op. cit., p. 60.

<sup>60</sup> MANUAL DE MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS. Op. cit, ficha. E - 080.

<sup>61</sup> MORENO, Claudia. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza : Zea, 2001, p. 50.

**2.4.3 Enfoque biótico.** Según el Manual de Métodos y Procedimientos<sup>62</sup> el método BMWP es simple y rápido para evaluar la calidad de agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. El puntaje va de 1 a 10, las familias más sensibles a la contaminación reexhiben un puntaje de 10, y las más tolerantes reciben un puntaje de 1.

Roldán<sup>63</sup> indica que la suma de los puntajes de todas las familias da el valor BMWP. El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT, deriva del puntaje total BMWP dividido por el número de los taxa; este es el índice particularmente valioso para la evaluación de un sitio objeto de estudio. Sus valores van de 0 a 10; así pues si existe un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación. También Zamora<sup>64</sup> presenta una tabla donde se encuentran los valores BMWP para cada familia, este índice es adaptado para Colombia (**Anexo J**).

## 2.5 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.

Los análisis microbiológicos han estado encaminados principalmente en aspectos sanitarios y se hacen necesarios para determinar su adaptabilidad al consumo humano y para controlar la eficacia de los métodos de potabilización. Para Rheinheimer<sup>65</sup> el peligro más común y más difundido relativo al agua potable es el de su contaminación, sea esta directa o indirecta, debido al efecto de aguas servidas, de otros desechos o de las excretas del hombre o de los animales. Si dicha contaminación es reciente y entre los factores que contribuyeron a ella se hallan agentes portadores de enfermedades entéricas transmisibles, es posible que estén presentes algunos de los organismos vivos causales de las mismas. Beber agua así contaminada, o emplearla en la preparación de determinados alimentos, puede producir mayor número de casos de infección.

Borrego *et al.*,<sup>66</sup> consideran que las bacteria se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando éstos microorganismos se introducen, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento en el laboratorio, son lentos y laboriosos, se ha buscado un grupo alternativo de indicadores que sean de mas rápida y fácil detección. El grupo más utilizado es el de las coliformes, es

---

<sup>62</sup> MANUAL DE MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS. 1999. Op. cit., ficha. E - 110.

<sup>63</sup> ROLDAN, Gabriel. Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. Art. Universidad de Antioquia. Medellín : Departamento de Biología, p. 20-25.

<sup>64</sup> ZAMORA, Hílder. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las agua epicontinentales en Colombia. Popayán : Universidad del Cauca, 1999, p.49

<sup>65</sup> RHEINHEIMER, Gerhard. Microbiología de las aguas. Zaragoza : Acribia, 1987, p. 83.

<sup>66</sup> BORREGO, John; MORIÑO, Mario; CORNAX, Ronald y ROMERO, Paúl. Coliphages as on indicator of fecal pollution in water, its relationship with indicator an pathogenic microorganisms. Water research, 1987, p. 1473.

adecuado como indicador de contaminación bacteriana, ya que las coliformes: son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal del hombre como de los animales de sangre caliente, se encuentran en grandes cantidades, permanecen por mas tiempo en el agua que las bacteria patógenas, se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

yates<sup>67</sup> explica que las coliformes fecales y *E. Coli*. En particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo de tifoide-paratifoide y su alta concentración en diferentes tipos de muestras. Las coliformes fecales son un subgrupo de las coliformes totales, capaces de fermentar la lactosa a 44.5 °C aproximadamente, el 95% del grupo de las coliformes se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente.

---

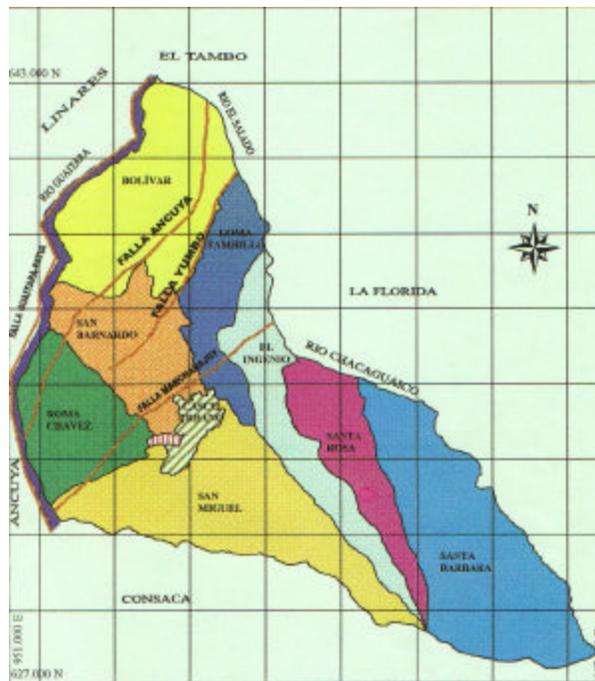
<sup>67</sup> YATES, Marian. Biomonitoring of environmental contamination. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona : 1990, p. 33 - 63.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO.

El presente estudio se realizó en la microcuenca el Ingenio en el Municipio de Sandoná (Figura. 1). Este es uno de los 64 municipios que comprende el territorio del departamento de Nariño, tiene una superficie de 101 Km<sup>2</sup> y una temperatura promedio de 18°. Su distancia a la ciudad de San Juan de Pasto es de 48 Km. Sus coordenadas son: 1° 17' 22" de latitud norte y 77° 28' 53" de longitud oeste de Greenwich. Los límites generales vigentes del municipio son: al norte con el municipio de El Tambo al oriente con el municipio de La Florida, al sur con el municipio de Consacá y al occidente con los municipios de Linares y Ancuya. Sandoná, a nivel físico espacial hace parte de la asociación de municipios circundantes al Volcán Galera, denominada "AMIGALERAS", integrada por Sandoná, La Florida, Consacá, Ancuya, Yancuanquer y Tangua.

Figura 1. Municipio de Sandoná.



Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial - P.O.T. Sandoná : 2001 – 2010.

La microcuenca de El Ingenio, (**Figura 2**) tiene un área de 1.369 hectáreas, se constituye en la Microcuenca más grande e importante para el Municipio de Sandoná; está comprendida entre las cotas 1.300 y 3000 m. s. n. m., tiene como cause principal la Quebrada el Ingenio, a la cual le confluyen 14 afluentes, que en su mayoría no se les conoce ningún nombre, en esta se encuentra asentado el Corregimiento de El Ingenio.

**Figura 2. Delimitación de la Cuenca El Ingenio y sus puntos de muestreo.**



De acuerdo al análisis morfométrico, tiene un perímetro de 24.4 Km., una longitud axial de 10,5 Km., y una forma oval redonda, la cual demuestra alta susceptibilidad a la torrencialidad. Se ha determinado que el caudal del cauce principal en los últimos 18 años se ha mermado en un 70%, esto debido a los problemas de deforestación que ha traído la ampliación de la frontera agropecuaria. La quebrada principal de esta Microcuenca abastece de agua a tres acueductos: Alto Jiménez, Sector Urbano de Sandoná y acueducto regional La Loma, también el agua de esta Microcuenca es utilizada para generar energía eléctrica para el Corregimiento de El Ingenio, por medio de una planta que funciona desde 1962.

Actualmente la Empresa de Servicios Públicos (EMSAN) en su afán de recuperar el caudal de esta Microcuenca ha venido adelantando programas de reforestación en convenio con Corponariño; la Unidad de Parques Nacionales que junto con la comunidad y estudiantes; se encargaron de sembrar 6000 árboles de 3 especies como son laurel, cedrillo y nacedero, en 8 hectáreas adquiridos por el municipio, estos árboles son cuidados por medio de visitas ecológicas que se realizan con la ayuda de los estudiantes y la comunidad.

### **3.2 ÁREA DE ESTUDIO**

Se seleccionaron 4 sitios a lo largo del río de El Ingenio (**Figura 3**). La zona de estudio se encuentra situada entre las alturas de 1300 a 3000 m.s.n.m. la mayor parte de la corriente de la parte alta y media del río Ingenio, está levemente afectada por actividades humanas, mientras que en su parte baja se observa un mayor grado de contaminación, producido principalmente por las descargas de aguas residuales domésticas y por los desechos derivados de la actividad agrícola. También se observa erosión de los suelos debido a: Monocultivos, prácticas inapropiadas de manejo de suelos, ganadería, deforestación y fuertes pendientes.

La estación 1 denominada La Horqueta (**Figura 3**), se encuentra ubicada a 3.000 m. s. n. m. corresponde a la zona de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB). En esta zona predominan: pajonales, bosque secundario y bosque de galería, la flora es escasa e intervenida por la extracción de madera. La estación 2 (**Figura 4**), Se encuentra a una altura de 1.967 m. s. n. m. corresponde a un área de bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST). Predominan los pastos para la ganadería. Aquí se encuentra ubicada la bocatoma que abastece el acueducto municipal. Esta zona es de fácil acceso para el ganado. La estación 3 (**Figura 5**) ubicada a 1.550 m. s. n. m., se encuentra a 500 m de El Pueblo de el corregimiento de El Ingenio y a 10 m de la carretera principal. A los márgenes de la quebrada hay pastos y cultivos de café, caña y plátano. A este lugar, por su ubicación, acuden muchos turistas para disfrutar del paisaje, sus aguas y conocer la planta hidroeléctrica. Corresponde a una zona de vida de bosque húmedo subtropical (bh-ST).

La estación 4 (**Figura 6**) se ubicada a 1.300 m. s. n. m. corresponde a una zona de vida bosque húmedo subtropical (bh-ST). Este lugar es pedregoso pero donde, abundan los cultivos de plátano, café y caña, también mango, piña y papaya. Se denomina El Salado porque al margen de la quebrada existe una pequeña mina de sal.

**Figura 3. Estación 1 La Horqueta 3000 m.s.n.m.**



**Figura 4. Estación 2 Bocatoma. 1967 m.s.n.m.**



**Figura 5. Estación 3 Planta Hidroeléctrica 1550 m.s.n.m.**



**Figura 6. ESTACIÓN 4 EL SALADO 1300 m.s.n.m.**



### 3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron mensualmente durante 5 meses (septiembre de 2000 a enero de 2003), se determinaron los siguientes parámetros “in situ”: caudal, mediante el método de flotador en una distancia aproximada de 10 m, debido a lo irregular del terreno; temperatura del agua, con un termómetro manual; el pH, se tomó con un pHmetro de marca HACH EC10; el CO<sub>2</sub> y la Alcalinidad se hizo mediante procesos de titulación; el Oxígeno disuelto se hizo a través del método Winkler, posteriormente se trasladó a los laboratorios de la Universidad de Nariño, para su cuantificación. Para los análisis que no se realizaron en el campo, se tomó 2 litros de agua en cada zona, cada botella etiquetada y se conservaron a 4°C en neveras portátiles de hicopor hasta llegar a los laboratorios de aguas de la Universidad de Nariño. Para su análisis se aplicó los métodos estándar (APHA, 1988), tales parámetros se encuentran consignados en la **Tabla 1**.

**Tabla 1. Metodología utilizada en la medición de parámetros fisicoquímicos.**

Parámetros	Método
Conductividad	Conductímetro Orión
Dureza total	Volumétrico
Cloruros	Volumétrico
Nitratos.	Espectrofotómetro
Nitritos.	Espectrofotómetro
Amonios.	Espectrofotómetro
Sulfatos.	Espectrofotómetro
Fosfatos.	Espectrofotómetro
Hierro	Titulometría
Sólidos totales	Gravimetrítico, balanza, analítica ohaus.
Sólidos suspendidos.	Hinjof
DBO <sub>5</sub>	Incubación 5 días
DQO	Oxidación con dicromato de potasio
Coliformes fecales.	Filtración por membrana
Coliformes totales.	Filtración por membrana

Fuente APHA, 1988

### **3.4 CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA.**

Según Montejano y Cantoral<sup>68</sup>, el empleo de la biota para evaluar y monitorear la calidad del agua se ha incrementado considerablemente durante los últimos años, un alto número de agencias ambientales de todo el mundo emplean métodos para la evaluación de la calidad del agua basadas en la utilización de comunidades biológicas. Los análisis fisicoquímicos determinan el estado del agua, sin embargo se implementó el estudio biológico para determinar con mayor exactitud su calidad. Para el análisis biológico se hizo mediante el estudio de macroinvertebrados acuáticos, estos se pueden observar a simple vista y se encuentran adheridos a sustratos como troncos, piedras y hojas, para este análisis se hizo lo siguiente:

En cada estación de muestreo se tomó un punto al azar equivalente a un área de 1 m<sup>2</sup>. En cada zona se trabajó un área total de 5 m<sup>2</sup>, distribuidos al azar. Dentro del área (1 m<sup>2</sup>) se hizo la colección del material biológico utilizando pinceles, pinzas y bandejas, esto se hizo barriendo y lavando las piedras, troncos y hojas en varias ocasiones. Estos macroinvertebrados se colocaron en frascos con alcohol al 70% etiquetando el lugar o estación al que pertenece, la fecha y número de identificación, la misma metodología se aplicó periódicamente durante el tiempo de estudio.

Posteriormente el material biológico se clasificó, se separó y se contó en el laboratorio de entomología de la Universidad de Nariño con la ayuda de un estereoscopio y las claves de Roldán 1988, Borror 1971, Peterson 1973, Edmonson 1959, Needhan y Needhan 1982, Amat et. al. 1999, Merrit y Cumins 2000, luego se clasificaron los respectivos organismos hasta género y algunos hasta familia.

Los organismos debidamente clasificados se preservaron en frascos de vidrio pequeños con alcohol al 70%, etiquetados con un rótulo que contienen datos como: lugar y fecha de colección, clasificación y número de espécimen.

### **3.5 CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA**

Para el análisis bacteriológico se tomaron 100 ml de agua aproximadamente en cada zona en frascos esterilizados y rotulados, se preservaron en una nevera de hicopor a 4°C, luego se llevaron a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño. Se analizó presencia o ausencia de coliformes fecales y coliformes totales, aplicando el método de filtración de membrana, metodología recomendada por el APHA 1988.

---

<sup>68</sup> MONTEJANO, Gustavo y CANTORIAL, Enrique. Comunidades acuáticas (Algas, insectos y ácaros) indicadores de la calidad del agua en los ríos permanentes de la región poniente del distrito federal. (Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa). Mc. Graw Hill, México : 2000, p. 182.

El análisis de la información fisicoquímica y bacteriológica para la obtención del índice de calidad del agua se realizó teniendo en cuenta el decreto N° 475 de marzo 10 de 1998 emanado del Ministerio de Salud.

### **3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico de los parámetros fisicoquímico y bacteriológico, se utilizó la prueba de Kruskal –Wallis que muestra si existen diferencias entre estaciones, luego se realizó una prueba posteriori denominada “tipo Tukey” la cual se encarga de revelar entre que estaciones existe una diferencia significativa.

El procesamiento de datos de los macroinvertebrados acuáticos se realizó por medio del programa estadístico BIODAP (Ecological Diversity and Its Measurement) Programer: Gordon, Thomas. Resource Conversation. Fundy National Park. Alma New Bruswick. Canadá. Correo electrónico [http:// web.minambiente.gov.co/biogeo/menu/herramientas /software.html](http://web.minambiente.gov.co/biogeo/menu/herramientas/software.html). por medio de este programa se introdujo los datos para obtener los índices de diversidad (Shannon, Simpson) y similitud (Jaccard).

También se utilizó el enfoque biótico en el método BMWP para evaluar biológicamente la calidad del agua. Para esto se utilizaron los organismos clasificados a nivel de familia, se procedió a asignarle un puntaje a cada una, según Zamora y Roldán, mediante una sumatoria se obtuvo el valor del índice BMWP que nos muestra el tipo de calidad de agua de la fuente.

## 4. RESULTADOS.

### 4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

El contenido de las diferentes sustancias disueltas es conocido como parámetros fisicoquímicos y estos están contemplados y reglamentados en la legislación nacional decreto 475 del 10 de marzo de 1998.

El **Caudal** durante el tiempo de muestreo fue para el sitio de 1,8 l/seg en época de verano (septiembre) y 7,6 l/seg, época de invierno (octubre y noviembre). La estación 2 registra valores de 60 l/seg y 135 l/seg en verano e invierno respectivamente. La estación 3 y 4 en verano presentaron valores de caudal de 256 l/seg y 300 l/seg; en invierno de 480 l/seg y 504 l/seg. **Tabla 2** y **Figura.7**.

**Tala 2. Valores de caudal en las 4 estaciones de muestreo.**

ESTACIONES	VERANO	INVIERNO
1	1.8 l/seg	7.6 l/seg
2	60 l/seg	135 l/seg
3	256 l/seg	480 l/seg
4	300 l/seg	504 l/seg

Según el Manual de Métodos y Procedimientos<sup>69</sup> esta fuente presenta en sus 4 estaciones una capacidad ambiental muy baja, teniendo en cuenta los valores de caudal anteriormente mencionados para cada zona. El bajo caudal de esta fuente se debe a la gran deforestación a que fue sometida por el hombre, sobre todo en las partes altas, las cuales afortunadamente se están tratando de recuperar.

---

<sup>69</sup> MANUAL DE METODOS Y PROCEDIMIENTOS. Op. cit., ficha. E-112

Figura 7. Variación del caudal en las 4 estaciones de muestreo.

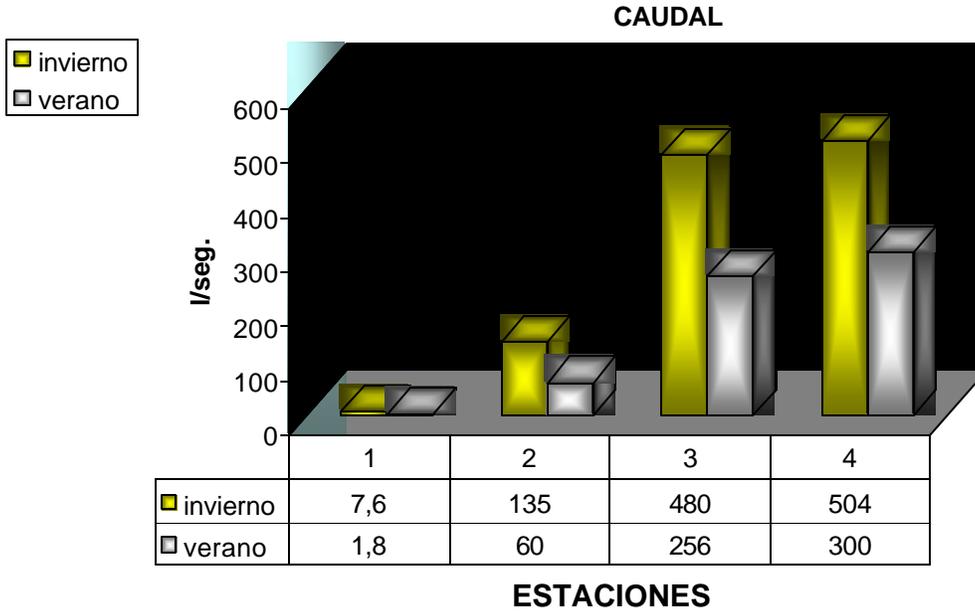
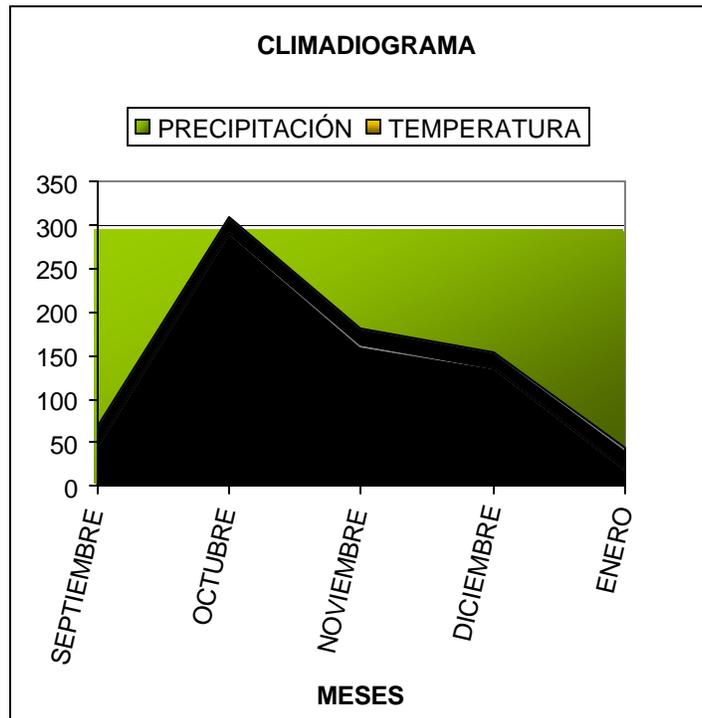


Figura 8. Precipitación y temperatura del municipio de Sandoná en los meses de septiembre de 2002 a enero de 2003.

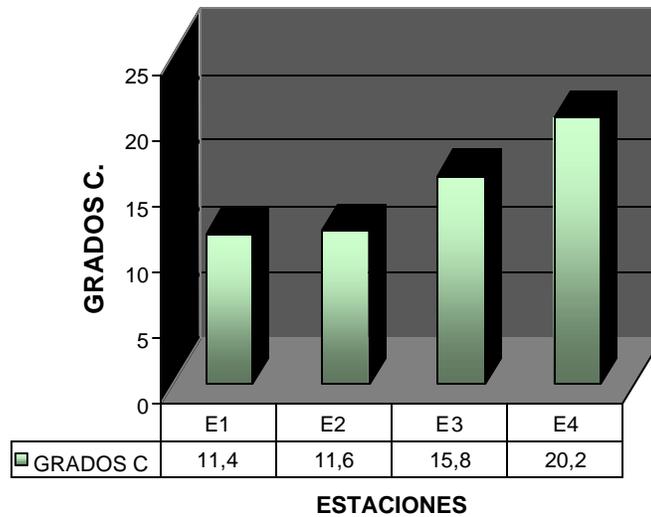


**Tabla 3 . Resultado de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del río ingenio.**

PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLÓGICOS mg/l	ESTACION 1: LA HORQUETA						ESTACION 2: BOCATOMA ACUEDUCTO SANDONA						ESTACION 3: PLANTA HIDROELECTRICA EL INGENIO						ESTACION 4: EL SALADO					
	3000 m. s. n. m.						1967 m. s. n. m.						1550 m. s. n. m.						1300 m. s. n. m.					
	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	M	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	M	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	M	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	M
	M1	M2	M3	M4	M5	PROM.	M1	M2	M3	M4	M5	PROM.	M1	M2	M3	M4	M5	PROM.	M1	M2	M3	M4	M5	PROM.
TEMPERATURA ° C	13	12	10	10	12	11,4	14	12	12	10	10	11,6	16	15	16	16	16	15,8	21	20	20	18	22	20,2
PH U. PH.	6,9	7,2	7,4	7,8	6,7	7,2	8,2	6,7	6,8	6,8	7	7,1	8	7,1	6,9	6,5	7	7,1	8,2	7,2	8	6,8	7	7,4
CO2	2,3	3,8	3,8	3,1	3,5	3,3	3,2	2,8	4,3	1,3	4,1	3,1	10,3	9,8	18,4	13,8	4,3	11,3	15,3	19,1	28,8	32	33	25,6
OXIGENO DISUELTO	6,5	6,9	8,4	8,5	6,3	7,35	8,4	8,12	7,9	8,3	7,9	8,1	6,8	6,1	7,3	6	6,1	6,9	7	7,2	7,4	7,9	7,1	7,3
CONDUCTIVIDAD US/CM	72	75	78,1	80	72	75,4	112	115	87,9	91	105	102	121	120	120,1	132	110	120	141	134	118	116	128	127
ALCALINIDAD	29,2	30,1	29,6	29,8	32	30,1	52,8	55,8	40,4	45	53,2	49	56,8	59,3	47,2	51	58,4	54,5	66,4	68,6	45,2	49	69	59,9
DUREZA TOTAL	29,6	31,1	39,2	41	30,2	34,2	48,8	42,5	42,4	43	43,7	44,2	53,6	49,6	52,4	54	48,9	51,8	63,6	58,5	53,2	55,5	59	57,9
CLORUROS	98,2	50,3	0,04	0,1	45	38,7	7,7	8,9	0,04	0,1	32	9,7	16,5	22,5	0,09	0,1	25	12,8	28,2	31,9	0,1	0,2	23	16,7
NITRATOS	1,2	1,3	0,3	0,4	1,5	0,9	2,5	2,9	2,2	2,3	2,72	2,5	12,8	14,7	5,4	6,3	13,4	10,5	17,5	19,1	1,4	1,3	21	12,1
NITRITOS	ND	ND	0,02	0,01	ND	0,01	0,05	0,07	0,06	0,06	0,03	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,07	0,2	0,1	0,4	0,1
AMONIO	0,03	0,02	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,5	0,08	0,1	0,08	0,09	0,1	0,9	0,05	0,2	0,08	0,05	0,1	0,2	0,06	0,1
SULFATOS	28	25,5	24	31	42	30,1	27,5	23,5	31	24	28	26,8	29,4	26	28	31	33	29,4	31,5	30	34	42	33,9	34,2
FOSFATOS	ND	0,1	0,2	0,1	0,3	0,17	0,25	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,4	0,8	0,7	0,9	0,5	0,67	0,7
HIERRO	0,29	0,1	0,2	0,1	0,3	1,16	0,05	0,1	0,07	0,1	0,25	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,	0,31	0,3
SÓLIDOS TOT	50	51	77	61	62	60,2	98	104	97	90	92	96,8	118	124	115	128	100	116,4	141	149	162	160	161	154,6
SÓLIDOS SUSP	6	9	11	10	13	9,8	8	12	6	7	3	7,2	9	17	8	19	16	13,8	11	22	12	25	22	18,4
DBO5	5,9	6,5	7,9	8,3	8,1	3,3	7,6	8,3	9,3	8,9	7,72	8,3	12,7	16,5	18	19	20,2	17,2	16,3	22,4	71,7	66	15,6	38,5
DQO	4,5	5,1	7,1	6,8	7,9	6,2	8,6	9,6	11,4	14,5	12,5	11,3	15,2	18,7	3,8	27,8	18,1	23,7	18,4	17,3	98,3	88,3	35,6	51,5
COLIFORM micro/100	TOTALI 3	5	3	4	2	3,4	17	13	15	12	12	38	32	46	98	37	35	49,6	84	43	83	92	56	73,6
COLIFORM micro/100	FECALI Neg.	2	1	1	Neg.	0,8	6	3	1	7	6	4,6	11	13	18	15	4	12,2	19	21	89	22	12	32,6

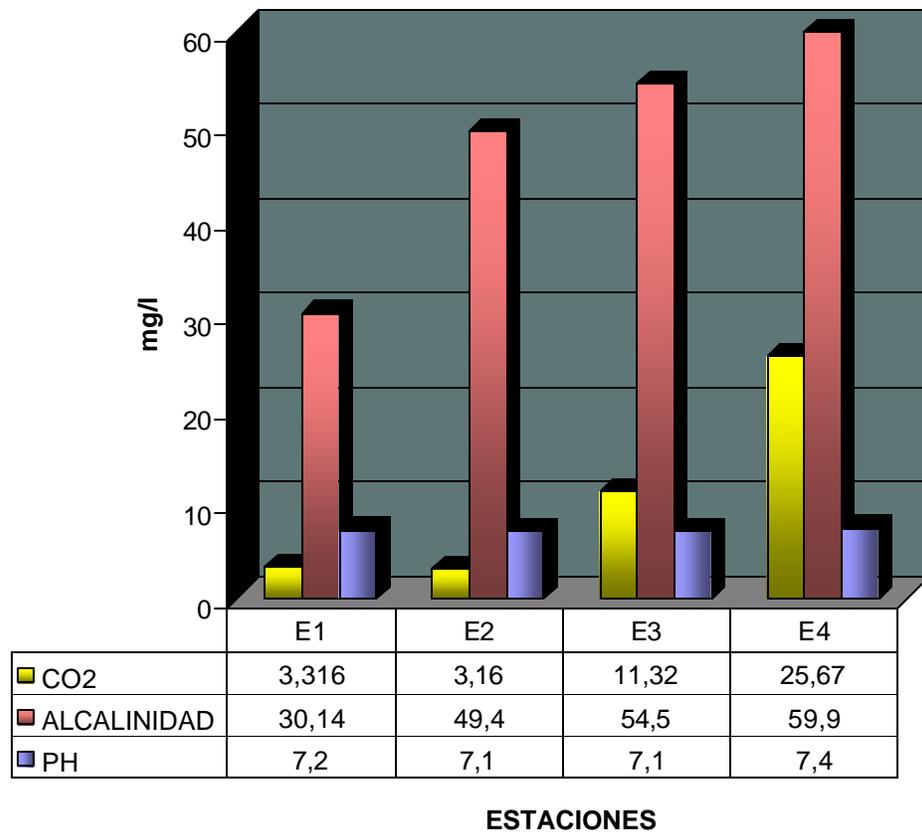
La **temperatura** del agua en la estación 1 la Horqueta, presenta un valor promedio de 11.4°C, el cual se incrementa hasta la estación 4 El Salado con un valor de 22 °C como se indica en la tabla 3 y **Figura 9**. Por medio de la prueba de Kruskal Wallis con prueba a posteriori “Tipo Tukey” con un nivel de confianza del 95%, tenemos que la temperatura presenta diferencias significativas entre las estaciones 1 la Horqueta y 4 El Salado, y, 2 Bocatoma y 4 El Salado, con valores  $q = 4.68$  y  $q = 4.76$  respectivamente

**Figura 9. Variación de la temperatura en las 4 estaciones río ingenio.**



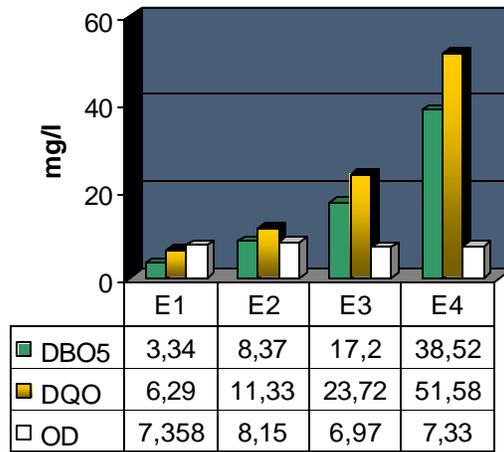
El **pH** como se observa en la **Figura 9**, oscila alrededor de la neutralidad, registrándose un valor promedio mínimo de 7.1 UpH en las estacones 2 y 3 y un máximo en la estación 4 con 7.4 UpH. Según los datos estadísticos con un grados de confiabilidad del 95%, el pH no presentó una diferencia significativa entre las 4 estaciones. Los resultados de **Alcalinidad** (**Tabla 3**), registrados en el sitio de estudio fueron: en la estación 1 la horqueta 30.1 mg/l aumentando su valor en la estación 4 con 59.9 mg/l (**Figura 9**). La ANDEVA, mostró claras diferencias entre las estaciones 1 La Horqueta y 4 El Salado con valor  $q = 5.66$ ; estación 1 y 3 con valor  $q = 3.77$  y las estaciones 2 y 4 también con un valor  $q = 3.77$ . Los datos de **CO<sub>2</sub>**, también aumentan a medida que avanza el curso del río (**Figura 10**), obteniendo el mínimo valor en la estación 2 con 3.1 mg/l y un máximo en la estación 4 de 25.3 mg/l. Estadísticamente y con un nivel de confianza del 95% , las estaciones 1 y 4, y, 2 y 4 presentan diferencias significativas con valores  $q = 4.76$  y  $4.64$  respectivamente.

**Figura 10. Variación Del  $\text{CO}_2$ , alcalinidad y ph en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**



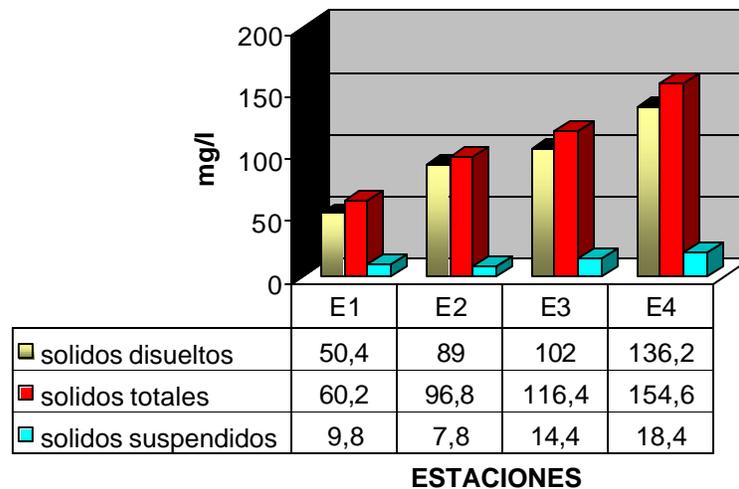
El **Oxígeno disuelto**, presenta el valor mas alto en la estación 2 Bocatoma con 8.1 mg/l equivalente al 98% de saturación y el mas bajo lo reporta la estación 3 Planta Hidroeléctrica con 6.9 mg/l que corresponde al 82% de saturación (**Figura 11**). Esta cuenca se caracteriza por presentar los valores más altos de **DBO Y DQO** en la estación 4 El Salado con 38.5 mg/l y 51.5 mg/l respectivamente (**Figura 12**). La ANDEVA muestra con un 95% de confianza, diferencias significativas entre las estaciones 1 y 4 con valores  $q = 3.8$  para DBO y  $q = 4.4$  para DQO.

**Figura 11. Variación de DBO, DQO y oxígeno disuelto en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**



Los **Sólidos Totales, Suspendidos y Disueltos**, aumentan desde la primera hasta la cuarta estación (**Figura 13**), el valor mínimo promedio lo presentó la estación 1: Sol Tot.= 60.2 mg/l; Sol Sus. = 9.8 mg/l y Sol Dis. = 50.4 mg/l, y el máximo lo presenta la estación 4 Salado: Sol Tot = 154.6 mg/l; Sol Sus = 18.4 mg/l y Sol Dis = 136.2 mg/l. Estadísticamente se dio una diferencia significativa entre las estaciones 1 La Horqueta y 4 El Salado con un valor  $q = 5.6$  mg/l, y, la estación 2 Bocatoma y 4 El Salado con un valor  $q = 3.70$ .

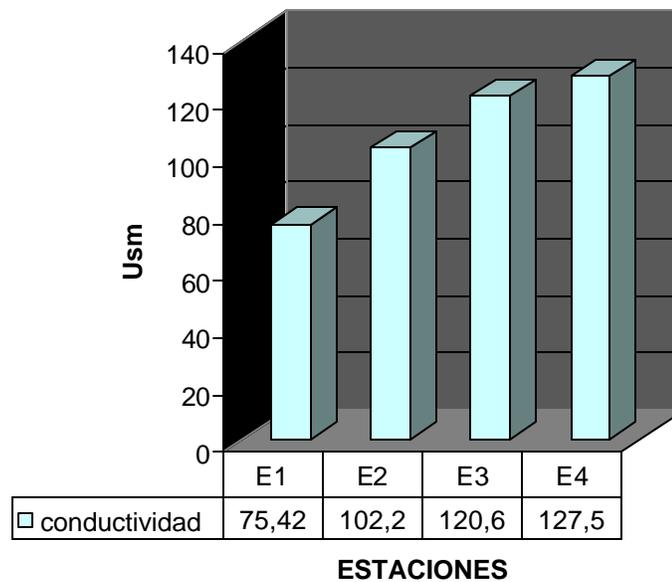
**Figura 12. Variación de sólidos disueltos, totales y suspendidos en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**



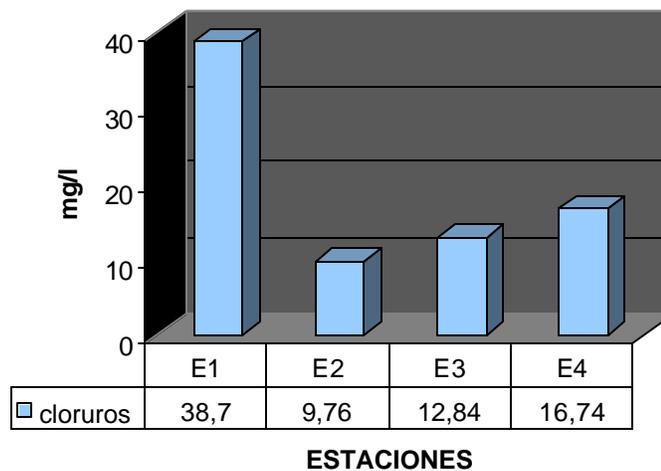
Con respecto a la **Conductividad**, se observó el valor promedio más alto en la estación 4 El Salado como lo indica la **Figura. 13** de 127.5  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , y el promedio mas bajo fue en la estacion 1 la Horqueta con 75.4  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Los datos estadísticos reportan diferencias significativas entre las estaciones 1 y 4 con  $q = 5.6$ .

La **Figura 13** señala que en la estación 1 La Horqueta se registró el valor más alto de **Cloruros** (38.7 mg/l) y el valor más bajo en la estación 2 Bocatoma (9.7 mg/l). La ANDEVA con un nivel de confianza del 95%, no mostró diferencias significativa de este parámetro en las 4 estaciones con un coeficiente de error de 0.99.

**Figura 13. Variación de la conductividad en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**

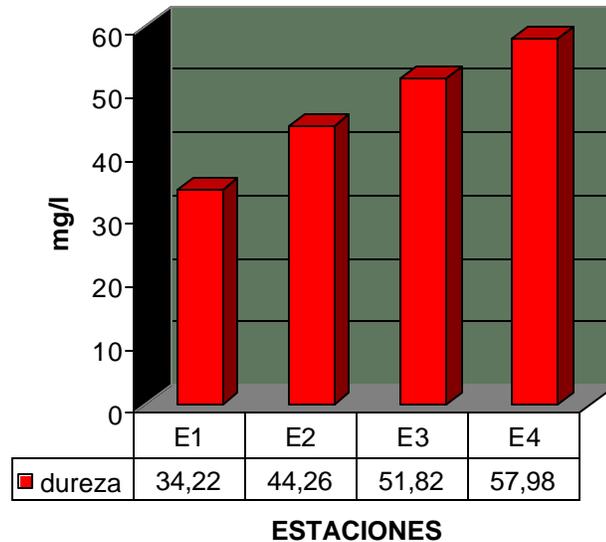


**Figura 14. Variación del cloruro en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**



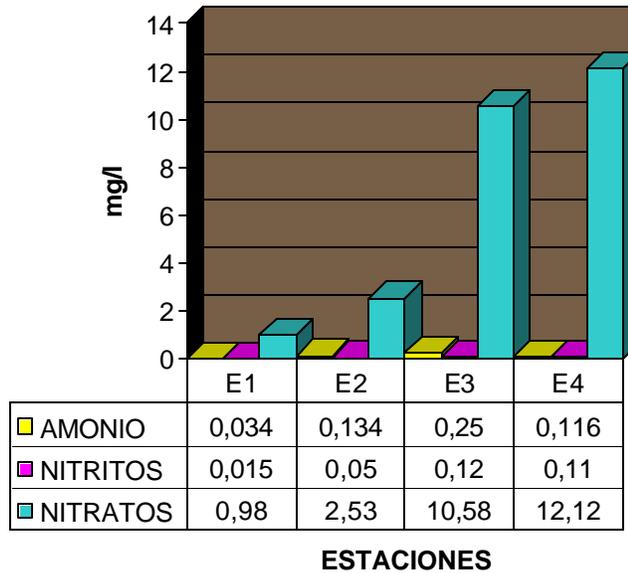
Según los datos obtenidos a partir de los resultados tabla 3 se encontró que la estación 4 registró un valor promedio máximo de **Dureza** de 57.9 mg/l y el promedio mínimo en la estación 1 La Horqueta de 34.2 mg/l (**Figura 15**). Estadísticamente hay diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% entre las estaciones 1 la Horqueta con respecto a la 3 que corresponde a la Planta Hidroeléctrica y 4 El Salado, con valores  $q = 3.77$  y  $q = 5.6$  respectivamente.

**Figura 15. Variación de la dureza en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**

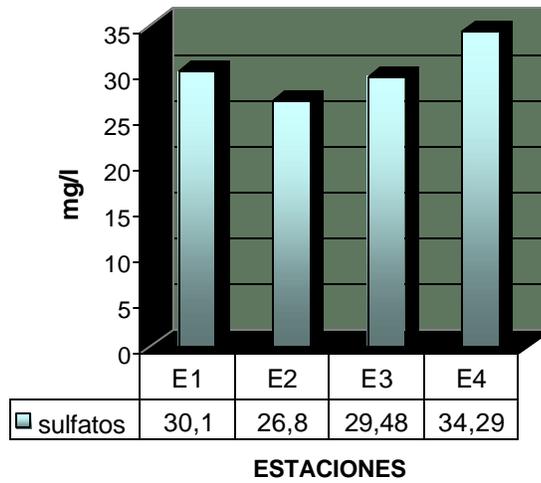


El valor promedio máximo de **Amonio** en los 4 puntos de estudio se obtuvo en la estación 3 con 0.25 mg/l y el mínimo fue en la estación 1 con 0.03 mg/l (**Figura 16**). La ANDEVA muestra una diferencia significativa entre las estaciones 1 y 3 con  $q = 3.67$ . El valor promedio más alto de **Nitritos** se obtuvo en la estación 3 Planta Hidroeléctrica y en la estación 4 El Salado con 0.1 mg/l; el valor mas bajo se presentó en la estación 1 La Horqueta (0.01 mg/l). Estadísticamente las 4 estaciones no presenta diferencias significativas con un coeficiente de error de 0.9 y un nivel de confianza del 95%. Durante el estudio se obtuvo concentraciones máximas de **Nitratos** en la estación 4 El Salado con un valor promedio de 12.1 mg/l y una concentración mínima en la estación 1 La Horqueta con 0.9 mg/l. Estadísticamente hubo diferencias significativas entre las estaciones 1- 3 y 1 – 4 con valores  $q = 57.5$  y  $q = 17.5$  respectivamente. Los resultados para **Sulfatos** nos revelan en la tabla 3. (**Figura 17**), que en las 4 estaciones de muestreo no se presentó una diferencia estadísticamente significativa con un coeficiente de error de 0.9 y un nivel de confianza del 95%, sin embargo los valores mas altos se encontraron en las estaciones 3 y 4 con valores de 30 mg/l y 34 mg/l respectivamente y los datos mas bajos se reportaron en la estación 2 con 26 mg/l.

**Figura 16. Variación del amonio, nitritos y nitratos en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**



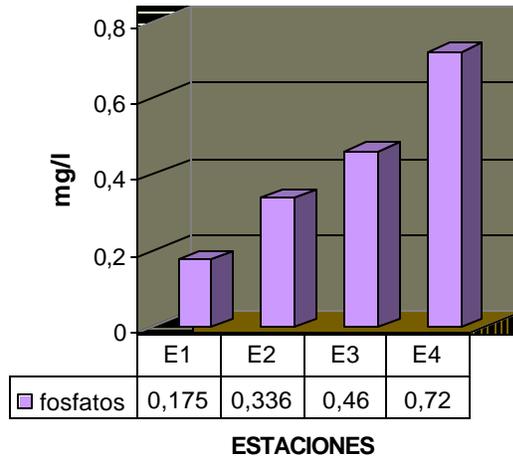
**Figura 17. Variación del sulfato en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**



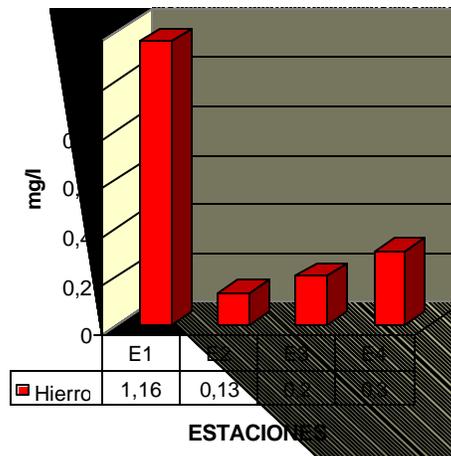
La estación 4 el salado reporta un valor promedio máximo de **Fosfatos** de 0.7 mg/l, y el valor promedio mínimo, lo presenta la estación 1 La Horqueta con 0.1 mg/l. La ANDEVA, no muestra una diferencia estadísticamente clara con un coeficiente de error de 0.97. Dados los valores en la **Figura 18**, se considera que entre estaciones tampoco se observa diferencias significativas para esta variable. Según los datos de la tabla 3 y **Figura 19**, la estación 1 La Horqueta reporta el mas alto valor de **Hierro** 1.1 mg/l, el valor promedio mas

bajo lo reporta la estación 2 Bocatoma con 0.1 mg/l. Estadísticamente el hierro no presenta ninguna diferencia significativa en las 4 estaciones de muestreo

**Figura 18. Variación del fosfato en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**



**Figura 19. Variación del hierro en las 4 estaciones de muestreo del río ingenio.**



## 4.2 CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA

Hay muchos métodos para evaluar la calidad biológica de las aguas teniendo como base fundamental el estudio de los macroinvertebrados acuáticos, que por su metodología sencilla, rápida, y económica se hacen muy adecuados para este fin.

Según Escobar<sup>70</sup>, la apreciación primera referente al buen papel que desempeñan los macroinvertebrados a la hora de evaluar las condiciones de salud del agua se basa en el hecho que estos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales están adaptados, cualquier cambio en las condiciones ambientales, se refleja por lo tanto en las comunidades que allí lo habitan.

Lo anterior se fundamenta según Rosemberg<sup>71</sup> en las características propias de este grupo de animales como son su reducida movilidad y sus prolongados ciclos de vida, además de poseer un número relativamente amplio de grupos taxonómicos, lo cual facilita una buena evaluación de las condiciones ambientales del medio.

---

<sup>70</sup> ESCOBAR, Antonio. Estudio de las comunidades macrobénticas en el río Manzanares y sus principales afluentes y su relación con la calidad del agua. En : Actualidades biológicas, Vol. 18. No. 65. Medellín : 1989, p.45-60.

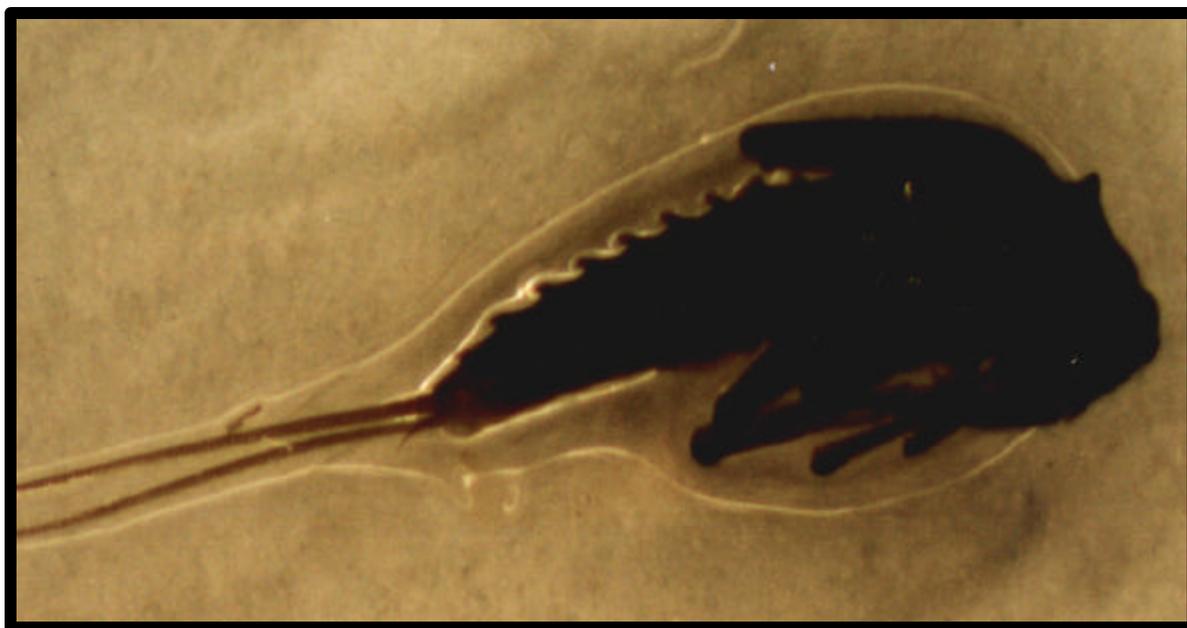
<sup>71</sup> ROSEMBERG, D. Introduction to freshwater monitoring and benthic macroinvertebrates. MEMORIAS SEMINARIO INTERNACIONAL MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS. En : Yuka Shimisu, Memorias seminario internacional macroinvertebrados acuáticos. Cali : 1993, p. 25 - 31.

**Tabla 4. Inventario de la macrofauna acuática del río el ingenio.**

PHYLLUM	GRUPO SISTEMÁTICO				E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	TOTAL
	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	TOTA	TOTA	TOTA	TOTA	
					L	L	L	L	
		Coleoptera	Psephenidae	<i>Psephenups</i>	21	41	0	0	62
			Elmidae	<i>Macrelmis</i>	3	18	2	0	23
			Elmidae	<i>Neocylloepus</i>	0	2	5	0	7
			Elmidae	<i>Cylloepus</i>	4	4	1	1	10
			Elmidae	<i>Macrelmis SP</i>	0	0	1	0	1
		Tricoptera	Hidrobiosidae	<i>Atopsiche</i>	30	15	4	0	49
			Hydropsichidae	<i>Leptonema</i>	24	43	63	38	168
			Hydropsichidae	<i>Smicridea</i>	183	272	73	38	566
			Glossosomatidae		0	0	1	0	1
			Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i>	4	13	0	0	17
			Limnephilidae	<i>Platycentropus</i>	1	0	0	0	1
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	13	55	0	0	68
		Diptera	Chironomidae	<i>Ablapsemya</i>	0	7	22	42	71
			Chironomidae	<i>Orthocladidae</i>	0	2	1	100	103
			Simuliidae	<i>Simullium</i>	67	17	3	0	92
			Tipullidae		0	0	1	0	1
			Empididae		0	0	1	0	1
			Blepharoceridae	<i>Limnolicola</i>	12	0	0	0	12
		Ephemeropteros	Trycoritidae	<i>Leptohiphes</i>	12	28	8	0	48
			Trycoritidae	<i>Tricorythodes</i>	0	19	29	0	48
			Baetidae	<i>Baetodes</i>	189	290	38	11	528
			Baetidae	<i>Procleon</i>	0	13	0	0	13
			Baetidae	<i>Bateéis SP</i>	2	8	0	25	35
			leptophlebiidae	<i>Terpides</i>	4	3	0	0	7
			leptophlebiidae	<i>Traulodes SP</i>	35	27	20	0	82
		Neuroptera	Corydalidae	<i>Coridalus</i>	1	2	1	0	4
		Odonato	Coeneagrionidae	<i>Hataerina</i>	5	5	1	0	11
			Libellulidae		0	1	3	1	5
			Gomphidae		1	0	0	0	1
	Crustáceo	Amphypoda	Hyalloleidae	<i>Hyallole</i>	0	249	0	0	249
Platyhelminthes	Turbellana	Tricladida	Planariidae	<i>Dugesia</i>	0	20	45	78	143
Arthropodo	Arachnoidea	Acarina	Limnessiidae	<i>Limnессia</i>	0	23	0	0	23
Molusco	Gastropoda	Basommatophora	Lymnaeidae		5	23	96	192	316
Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Pyralidae		2	3	6	6	17

En la **Tabla 4** se encuentran consignados el total de especímenes capturados por estación. Durante el tiempo de muestreo realizado a esta fuente en las 4 estaciones determinadas se colectaron 2778 organismos representados por 12 órdenes, 24 familias y 34 géneros. En la estación 1 se encontraron 618 individuos, identificados en 23 Géneros, distribuidas en 17 familias y 10 órdenes. Las familias Hydropsichidae (*Smicridea*) y Baetidae (*Baetodes*) (**Figuras 20 y 21**) fueron las que reportaron mayor cantidad de individuos. Según Roldán<sup>72</sup> estas familias se encuentran en aguas corrientes con mucha vegetación, toleran aguas hasta con un poco de contaminación y son muy abundantes. La familia Baetidae género *Baetodes* ocupa según la **Figura. 23** el 33% con 189 individuos colectados, seguido de la familia Hydropsichidae género *Smicridea* 183 organismos correspondientes al 31%. Los siguientes más representativos fueron: *Simullium* de la familia Simuliidae con 64 individuos 11%; *Traulodes sp* de la familia Leptophlebiidae con 35 individuos correspondiente al 6%; *Atopsiche* de la familia Hidrobiosidae ocupa el 5% con 30 individuos; los géneros *Psephenops* y *Leptonema* de las familias Psephenidae e Hydropsichidae están representados en un 4% con 21 y 30 individuos respectivamente y los géneros *Limnocola*, *Leptohipes* y *Anacroneuria*, de las familias Blepharoceridae, Trycoritidae y Perlidae, ocupan cada uno el 2% con 12, 12 y 30 individuos respectivamente.

**Figura 20. Orden: Ephemeroptera-Familia: Baetidae -Genero: Baetodes.**



---

<sup>72</sup> ROLDAN. 1998 Op. cit., p. 82.

Figura 21. Orden: Trichóptera . Familia: Hydropsychidae. Genero: *Smicridia*.

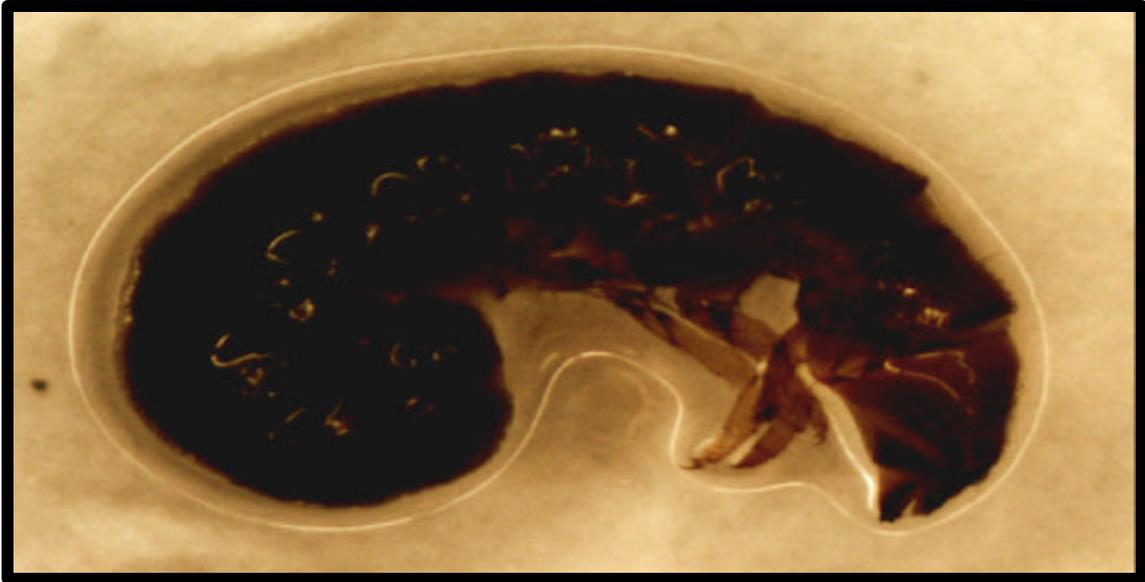
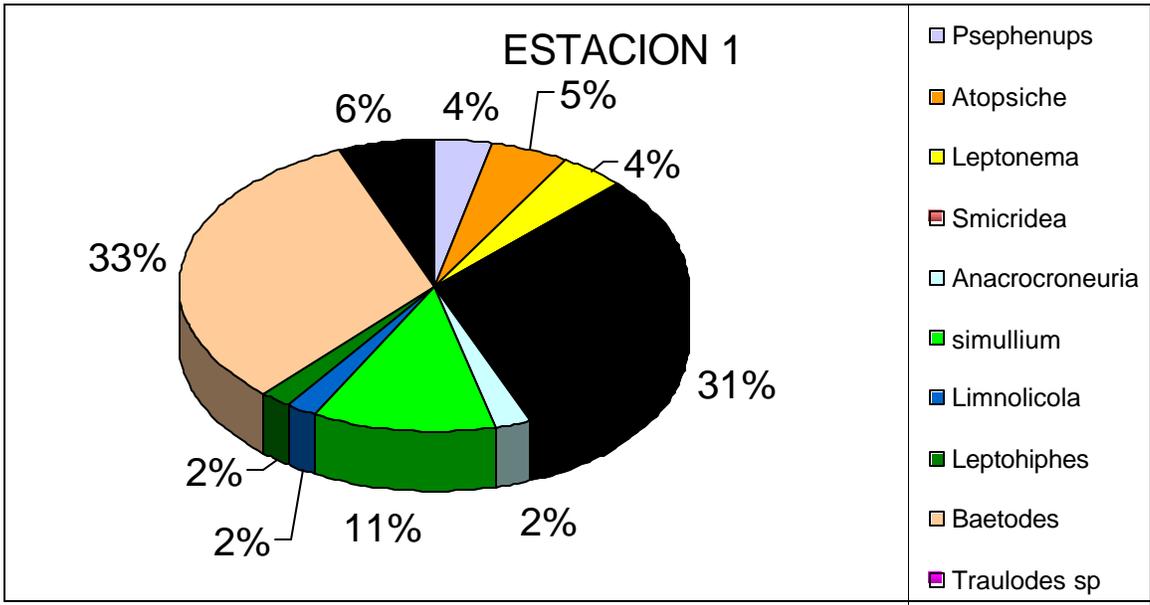
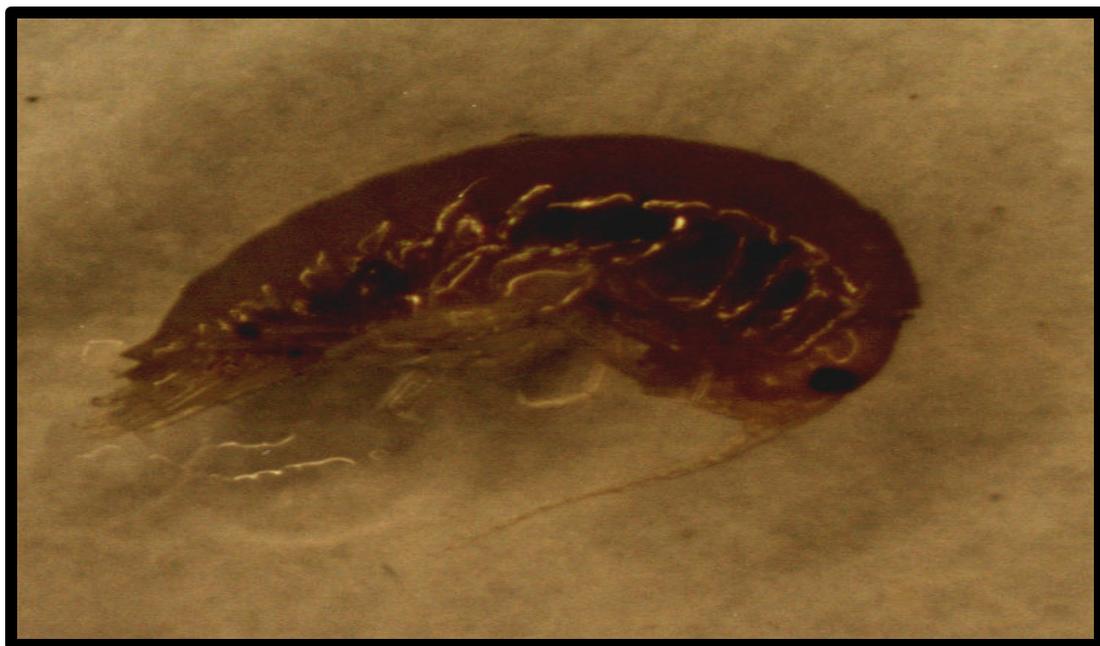


Figura. 22. Principales géneros de la estación 1 río ingenio.

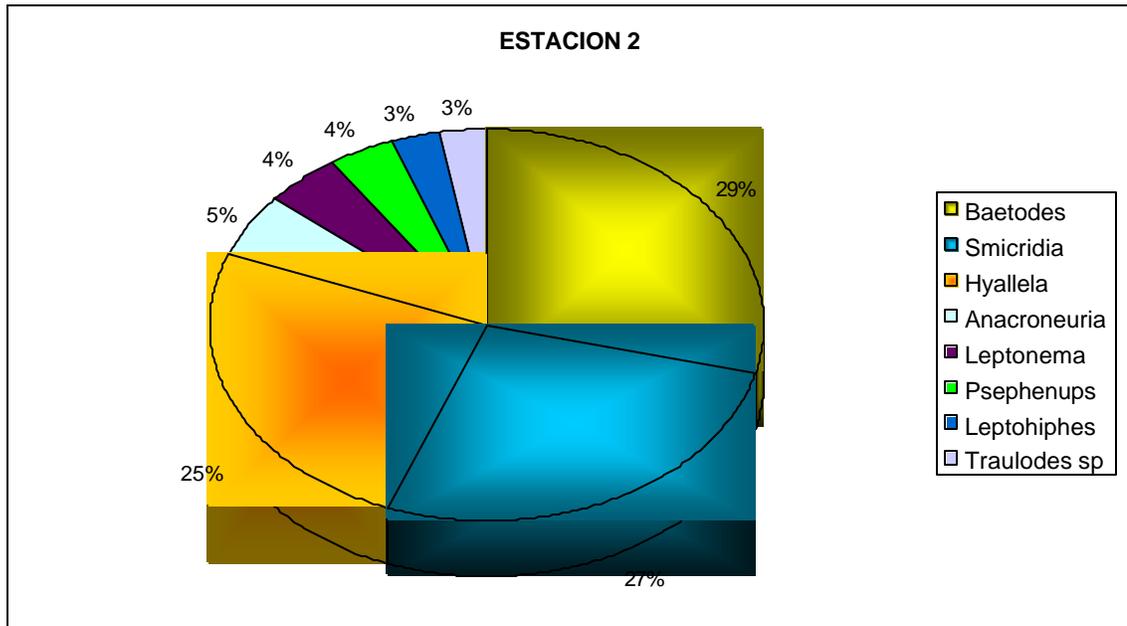


En la Estación 2 se encontró 1.203 individuos representados por 12 órdenes, 19 familias y 27 géneros. En esta estación al igual que en la 1 se encontraron abundantemente las familias Hydropsichidae (*Smicridea*) y Baetidae (*Baetodes*) con 272 y 290 cada uno. (Figuras 9 y 10). En esta zona Además encontramos también la familia Hyllellidae (Figura 11) con 249 individuos, esta se encuentra en aguas corrientes, indicadoras de aguas limpias aunque toleran un poco de contaminación. *Baetodes*, *Smicridia* y *Hyallolella*, ocupan según la Figura. 17 el 29%, 27% y 25% de abundancia en esta estación, los siguientes más representativos según el porcentaje de abundancia fueron: *Anacroneturia* con el 5% de abundancia constituido por 55 individuos; *Leptonema* y *Psephenops*, representaron el 4% de abundancia con 21 y 24 individuos respectivamente; entre tanto que los géneros *Leptohiphes* y *Traulodes* se componen un 3% de la abundancia relativa, entre los géneros más representativos.

**Figura 23.** Clase: Crustacea. Orden: Amphipoda. Familia: Hyaellidae.



**Figura 24. Principales géneros de la estación 2 río ingenio.**



En la Estación 3, se encontró 425 individuos, se identificaron en 9 órdenes, 12 familias y 23 géneros. Los géneros más abundantes fueron: Lymnaeidae (**Figura 13**) con 96 individuos, representando el 24% de abundancia; el género *Smicridia* (**Figura 11**) con 73 individuos componiendo el 19% de abundancia; *Leptonema* de la familia Hydropsichidae (**Figura 14**), con el 16% de abundancia (63 individuos); la familia Planariidae género *Dugesia*, (**Figura 15**) compone el cuarto lugar en orden de abundancia con el 12% (45 individuos). Los siguientes géneros mas representativos según la **Figura. 23** son: *Baetodes* de la familia Baetidae con 38 individuos componiendo el 10% de abundancia; *Tricorythodes* con 29 individuos representando el 8% de abundancia; seguido de *Ablapsemya* familia Chiromomidae y *Traulodes sp* familia Leptophlebiidae con el 6% y 5 % respectivamente, con 22 y 20 individuos cada uno. El género *Ablapsemya* se encuentra en agua contaminadas, lo que nos demuestra que hay una modificación del ecosistema con respecto a las dos anteriores.

Figura 25. Orden: Basommatophora- Familia: Lymnaeidae.

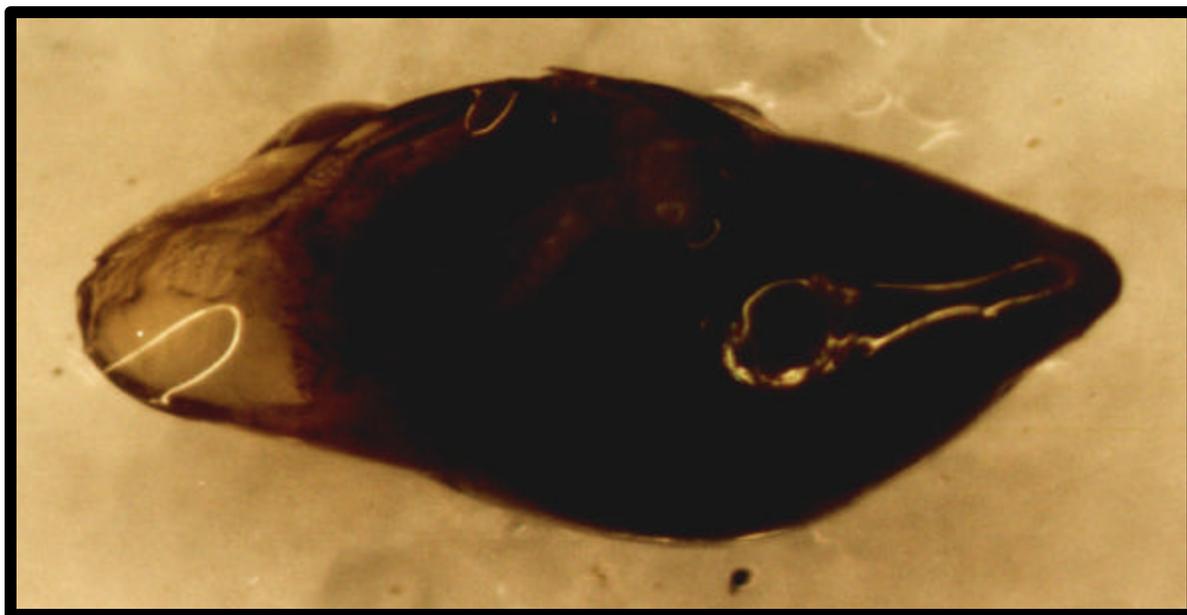


Figura 26. Orden: Tricoptera Familia: Hidropsichidae Genero: *Leptonema*.

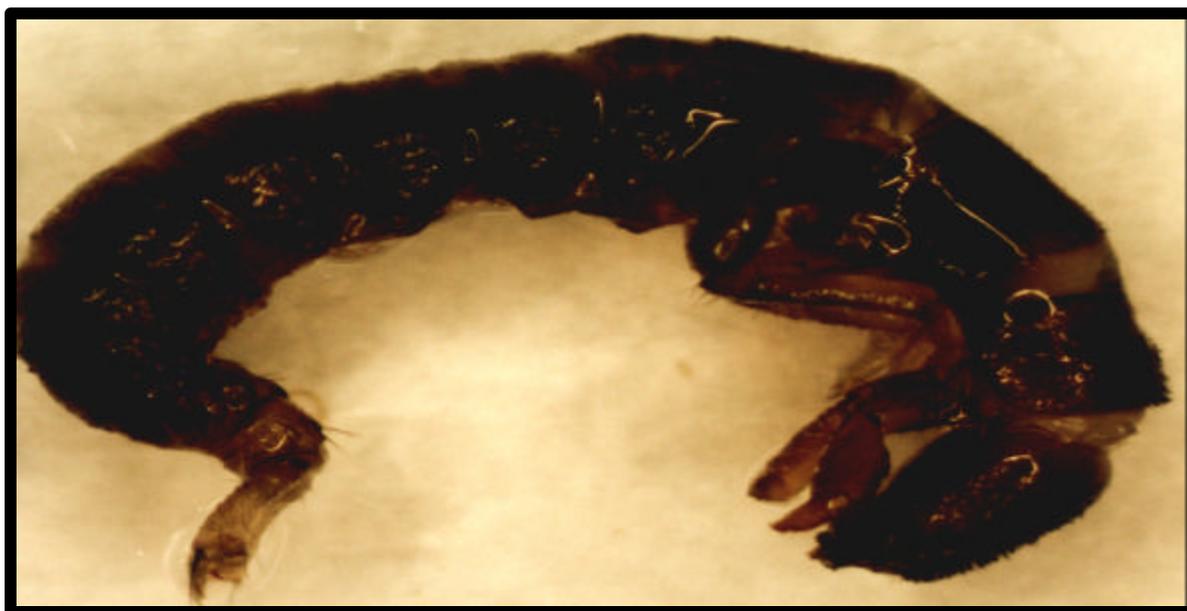
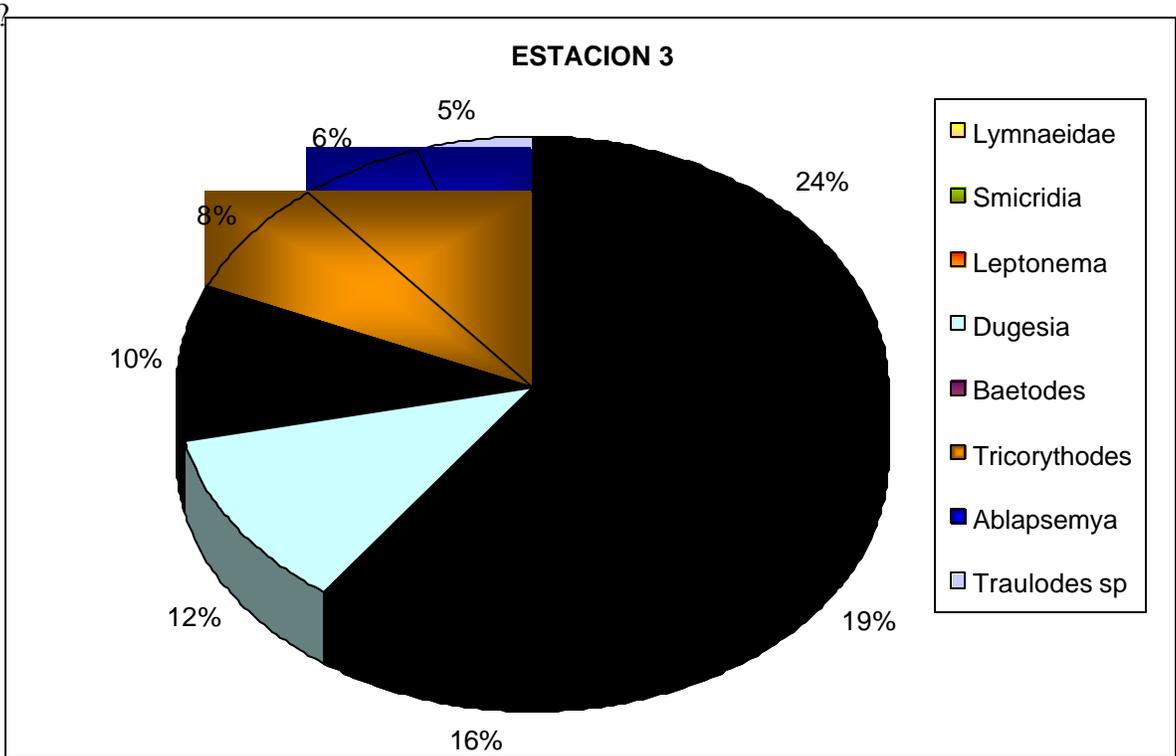


Figura 27. Orden: Tricladida Familia: Planariidae. Genero: *Ougesia*



?  
 ???



En la Estación 4 el total de individuos encontrados fueron 532 representados por 8 órdenes, 8 familias y 11 géneros. Las familias más representativas fueron Lymnaeidae (**Figura 26**) con 192 individuos, constituyendo EL 38%, seguido de la familia Chironomidae género (*Orthocladidae* (**Figura 28**) con 100 organismos, representando el 20% de abundancia. El género *Dugesia* (**Figura 27**) de la familia Planariidae y *Ablapsemya* (**Figura 29**) de la familia Chironomidae, representan el 12% y 8% de abundancia con 78 y 42 individuos respectivamente. Según la **Figura. 24** los géneros más representativos en porcentaje de abundancia fueron: *Leptonema* y *Smicridia* con el 7% de abundancia cada uno con 38 organismos y *Baetis* representado por el 5% con 25 individuos.

**Figura 29.** Orden: Díptera- Familia: Chironomidae-Genero: *Orthocladidae*



Figura 30. Orden: Diptera. Familia: Chinoromidae Genero: *Ablapsemyia*

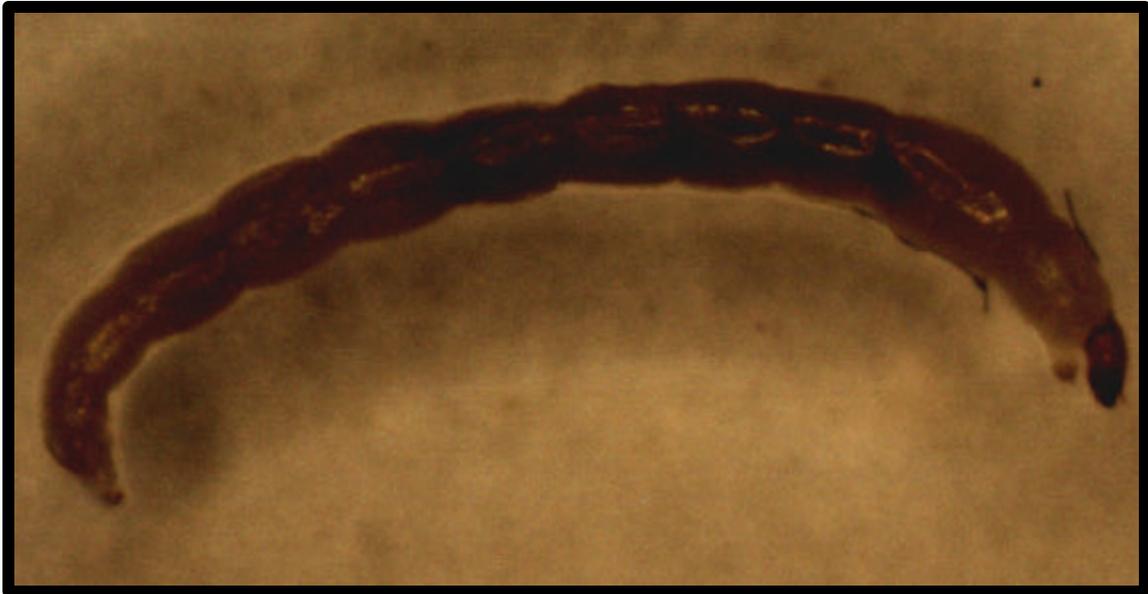
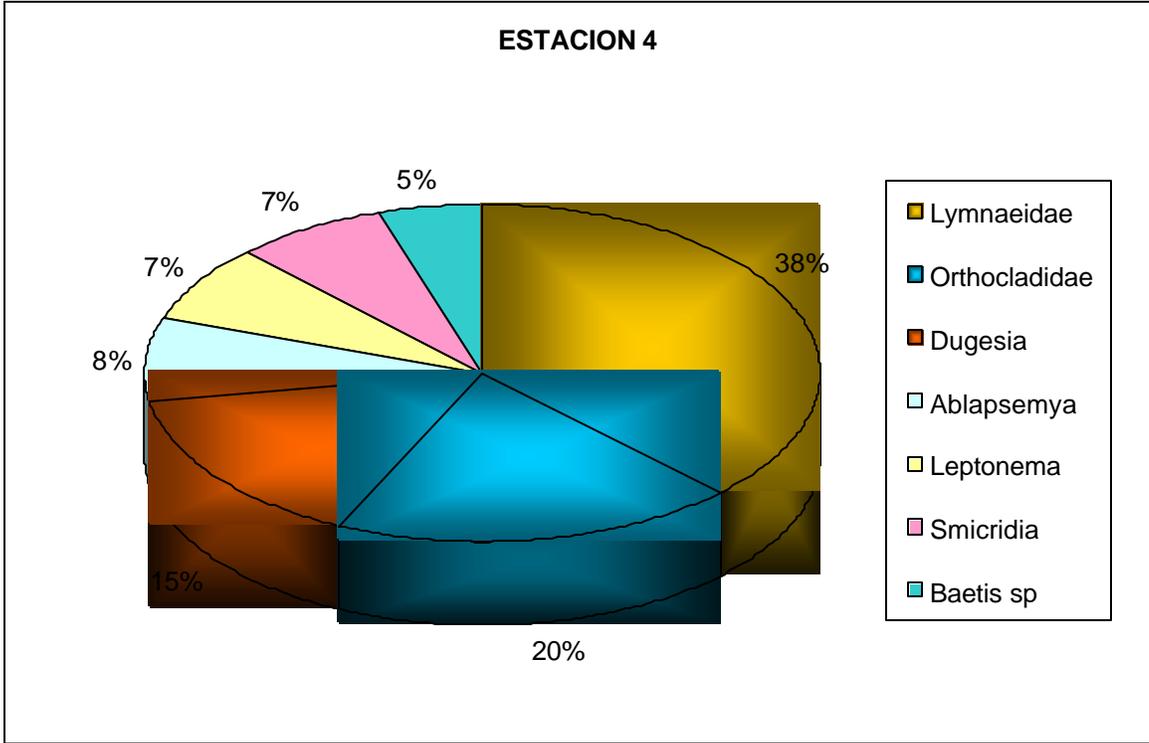


Figura. 31. Principales géneros de la estación 4 río ingenio.



### 4.3 ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Según Vergara y Góngora<sup>73</sup> La utilidad de los índices de diversidad de las especies para estudiar la calidad del agua se basa en la presunción de los ecosistemas de aguas limpias poseen valores altos de diversidad, en comparación con los sistemas contaminados, que tienen valores bajos de diversidad.

En la **Tabla 5** se reportan los valores de diversidad y abundancia de las cuatro estaciones de muestreo que se tuvieron en cuenta para analizar la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

**Tabla 5. Índices de diversidad.**

ESTACIÓN	SIMPSON	CLASIFICACIÓN	SHANNON	CLASIFICACIÓN
1	0,501	Baja diver. Alta dominancia	2,02	Diversidad media
2	0,759	Diver y dominancia media	2,29	Alta diversidad
3	0,730	Diver y dominancia media	2,30	Alta diversidad
4	0,205	Muy baja diver o muy alta dominancia	1,90	Diversidad baja

En la Estación 1 el índice de Simpson arrojó un valor de 0,501, lo que indicó baja diversidad o muy alta dominancia con alta probabilidad (80%) de encontrar individuos de la misma especie, lo mismo para el índice de Shannon que con un valor de 2,02 manifestó que esta estación es de baja diversidad.

En la estación 2, el índice de Simpson fue de 0,759 correspondiente a una diversidad y una dominancia media, de individuos por especie, en este sentido la posibilidad conjunta de encontrar individuos de la misma especie es alta con 75%. El índice de Shannon en esta estación fue de 2,29, indicando que en este sitio que corresponde a la bocatoma se registra una alta diversidad.

La Estación 3, presenta un índice de Simpson de 0,730 dando a entender una diversidad y dominancia media de individuos por especie, la probabilidad de encontrar los mismo organismos es del 78%. El índice de Shannon arrojó un valor de 2,30, determinando que en esta zona existe alta diversidad de especies. En la estación 4 según el índice de Simpson (0.205) presenta una muy baja diversidad y alta dominancia de individuos por especie teniendo una probabilidad conjunta de encontrar individuos de una misma especie del 80%. El índice de Shannon nos indica que el valor que presenta esta zona es de 1,90. La diversidad es baja. Según la ANDEVA existe una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95% entre la estación 1 con respecto a las estaciones 2 y 3; igualmente la estación 4 con respecto a las estaciones 2 y 3 con valores  $q = 3.81$  y  $q = 4.2$ , respectivamente.

---

<sup>73</sup> VERGARA. Op cit., p. 115-123

#### 4.4 ÍNDICE DE SIMILITUD

En la **Tabla 6** encontramos el índice de similitud de Jaccard para determinar el grado en que las cuatro estaciones fueron semejantes por las especies encontradas en ellas. Este índice señala que de los 34 géneros encontrados en las cuatro estaciones de muestreo durante todo el estudio, las Estaciones horqueta y bocatoma (1 y 2), 18 géneros son comunes para ambos sitios, de ahí que el índice de Jaccard con un valor de 0,60 equivalente al 60% de las especies, indicó una semejanza media, demostrando que existen razones por las cuales no haya una igualdad total entre las especies. Los sitios 1 y 3 comparten trece géneros de los 34 encontrados durante el estudio en las cuatro estaciones de muestreo, el índice de Jaccard nos da un valor de 0,42 que corresponde a un 42% de afinidad, indicando una semejanza media. Las estaciones 1 y 4 comparten 8 géneros en común, con un índice de 0.2 (Muy Baja Semejanza), dando a entender que estas 2 estaciones tienen un 20% de probabilidad de compartir algunas especies. Las estaciones 2 y 3 presentan un índice de similitud de 0.6, indicando una semejanza media teniendo la posibilidad de encontrar individuos de la misma especie del 60% esta dos estaciones comparten 19 géneros. Las estaciones 2 y 4 reportaron un índice de similitud de 0.4 (Muy Baja Semejanza) representando el 40% de probabilidad de compartir individuos de la misma especie. Estas dos estaciones comparten 11 géneros. Las estaciones 3 y 4 presentaron un índice de similitud de 0.41 (Semejanza Media) indicando que el 41% de las especies se presentan en las 2 estaciones, estas comparten 10 géneros en común.

**Tabla 6. Índices de similitud de jaccard.**

ESTACIÓN	JACCARD 1908	CARACTERÍSTICA
1 y 2	0,60	Semejanza Media
1 y 3	0,42	Semejanza Media
1 y 4	0,2	Muy Baja Semejanza
2 y 4	0,4	Muy baja semejanza
2 y 3	0,6	Semejanza Media
3 y 4	0,41	Semejanza Media

#### 4.5 ÍNDICE BIÓTICO BMWP

Cole<sup>74</sup> nos dice que la diversidad y la presencia de un organismo en un medio determinado ha sido discutida con relación al tiempo evolutivo, tiempo ecológico, estabilidad climática, la heterogeneidad del hábitat, gradientes altitudinales, productividad, grado de competencia entre especies, predación y alteraciones naturales antropogénicas, por lo tanto la mayor o menor tolerancia que presente un organismo en un ecosistema servirá para definir su

<sup>74</sup> COLE. Op. cit., p. 85.

capacidad adaptativa permitiendo evaluar así la calidad del agua y las características en que se encuentra un ecosistema hídrico. De acuerdo con Zamora<sup>75</sup> la evaluación biológica es la determinación cualitativa o cuantitativa del estado actual, es decir, el grado o nivel de alteración o no, en relación con las condiciones naturales o normales de un cuerpo de agua utilizado como parámetros de medición y análisis, propiedades de los organismos para el cálculo de índices para tal fin.

El valor del índice BMWP, propuesto por Roldán<sup>76</sup> para la estación 1, fue de 128, con un ASPT de 7.5 (Tabla 7), lo que llevó a clasificar esta agua como muy limpias, no contaminadas y de buena calidad (**Anexo A**), ubicándose en la Clase I color azul para la representación cartográfica (**Figura. 20**). La evaluación Biológica de la calidad de agua mediante el BMWP adaptado para Colombia por Zamora,<sup>77</sup> (**Anexo B**) arrojó para el estudio en esta estación, resultados de 131 con un ASPT de 7.7, lo que llevó a clasificar esta agua como aguas muy limpias, de muy buena calidad, Clase I, color azul oscuro para la representación cartográfica. En la estación 2 el valor BMWP según Roldan es de 132 y un ASPT de 6.9, clasificándola mediante estos índices, como aguas muy limpias, de buena calidad y que se ubican en la Clase I, para representaciones cartográficas color azul. Según Zamora esta zona presentó un valor BMWP de 128 y ASPT de 6,7, con características de aguas muy limpias, de calidad muy buena Clase I (Color azul oscuro). La evaluación biológica de la calidad de agua mediante el método BMWP según Roldán para la estación 3 arrojó un valor de 102 con ASPT de 6,0. Ubicando a esta estación en la Clase I de calidad buena y de características de aguas no contaminadas o poco alteradas. Para representaciones cartográficas color azul claro. Según Zamora el valor BMWP para esta estación fue de 110 y ASPT 6,4. Ubicándola en la clase II de buena calidad y con características de aguas limpias (color azul claro). La evaluación biológica para la zona 4 según Roldán, el valor BMWP fue de 42 con 5,2 de ASPT. Este sitio se ubica en la Clase IV de dudosa calidad con características de aguas contaminadas, color amarillo para las representaciones cartográficas. Por otro lado el índice BMWP propuesto por Zamora señaló para esta estación un valor de 41 con ASPT 5,1, de dudosa calidad con características de aguas moderadamente contaminadas y Clase III. Color amarillo para las representaciones cartográficas.

---

<sup>75</sup> ZAMORA, Híder. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. Popayán : Universidad del Cauca. Departamento de Biología. 1999, p. 49

<sup>76</sup> ROLDAN. Op. cit., p.20-32.

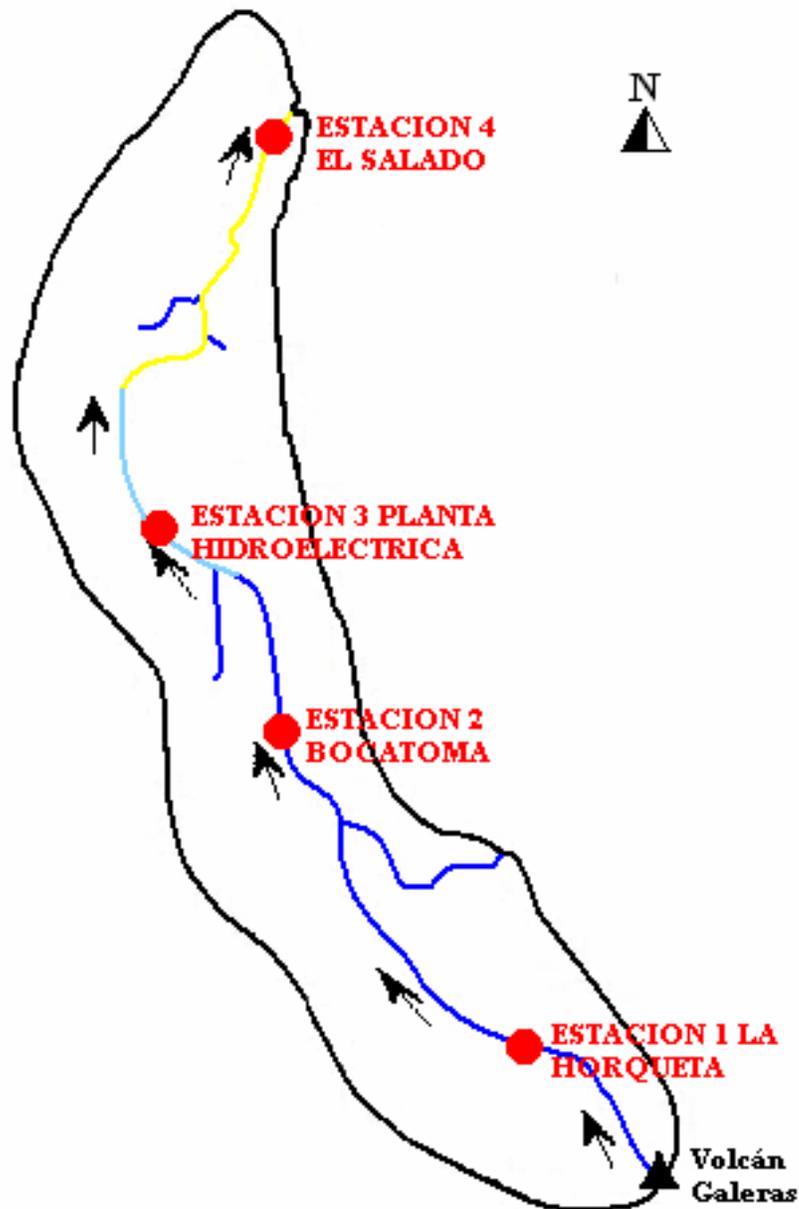
<sup>77</sup> ZAMORA. Op. cit., p.54-56.

**Tabla 7. Valores del índice bmwp para las familias encontradas en los cuatro puntos de estudio.**

FAMILIA	ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3		ESTACION 4	
	Roldán	Zamora	Roldán	Zamora	Roldán	Zamora	Roldán	Zamora
Elmidae	6	7	6	7	6	7	6	7
Psephenidae	10	9	10	9	-	-	-	-
Hidrobiosidae	9	9	9	9	9	9	-	-
Hidropsichidae	5	6	5	6	5	6	5	6
Glossosomatidae	7	10	7	10	7	10	-	-
Limnephilidae	8	9	-	-	-	-	-	-
Perlidae	10	10	10	10	-	-	-	-
Chironomidae	-	-	2	2	2	2	2	2
Simuliidae	8	9	8	9	8	9	-	-
Tipullidae	-	-	-	-	3	4	-	-
Empididae	-	-	-	-	4	7	-	-
Blepharoceridae	10	10	-	-	-	-	-	-
Trycoritidae	7	7	7	7	7	7	-	-
Baetidae	7	6	7	6	7	6	7	6
Leptophlebiidae	9	9	9	9	9	9	-	-
Corydalidae	6	6	6	6	6	6	-	-
Coeneagrionidae	7	8	7	8	7	8	-	-
Libellulidae	-	-	6	6	6	6	6	6
Gomphidae	10	8	-	-	-	-	-	-
Hyalidae	-	-	7	6	-	-	-	-
Planariidae	-	-	7	6	7	6	7	6
Acarina	-	-	10	4	-	-	-	-
Lymnaeidae	4	2	4	2	4	2	4	2
Pyrilidae	5	6	5	6	5	6	5	6
<b>BMWP</b>	<b>128</b>	<b>131</b>	<b>132</b>	<b>128</b>	<b>102</b>	<b>110</b>	<b>42</b>	<b>41</b>
<b>SPT</b>	<b>7,5</b>	<b>7,7</b>	<b>6,9</b>	<b>6,7</b>	<b>6,0</b>	<b>6,4</b>	<b>5,2</b>	<b>5,1</b>

Debido a los escasos estudios que se tienen en Colombia y en general en el neotrópico sobre macroinvertebrados acuáticos, hacen que no haya un refinado sistema de evaluación, de ahí que los resultados mediante el método BMWP, no sean definitivos, sin embargo, los resultados fisicoquímicos que son complementarios en los procesos de evaluación de la calidad del agua, presenta una serie de características que de acuerdo a la cuantificación de las mismas, pueden independientemente del índice BMWP determinar el verdadero estado.

Figura. 32. Representación cartográfica bmwp río ingenio.

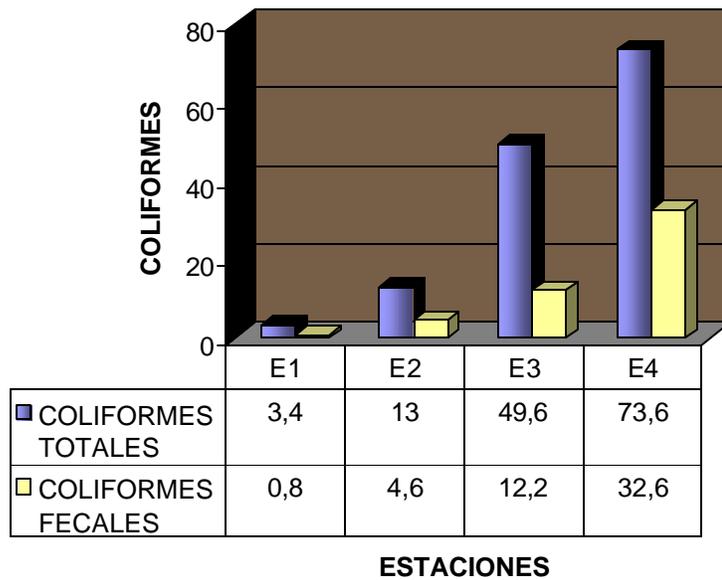


#### 4.6 CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA

Los resultados de la evaluación bacteriológica de las 4 estaciones se encuentra consignada en la **Tabla 8**. según las pruebas estadísticas realizadas para **Coliformes Totales** y **Coliformes Fecales** se encontró que la estación 1 La Horqueta difiere significativamente de las estaciones 2, 3 y 4 correspondientes a la Bocatoma, Planta Hidroeléctrica y El Salado, con valores  $q = 4.98$  y un nivel de confianza del 95%. Según la **Figura. (25)** se puede

observar que el valor mas alto se presenta en la estación 4 con 73 microor/100ml de coliformes totales y el mas bajo se encuentra halló en la estación 1 con 3 microor/100ml de coliformes fecales. Igualmente sucedió con la **Coliformes Fecales**, las cuales presentaron claras diferencias entre las estaciones 1,2,3, y 4 con valores  $q = 4.33$ , cuyos valores más altos se reportaron en la estación 4 con 32 microor/100ml y los más bajos en la estación 1 donde se encontró la prueba negativa en los meses de septiembre y enero; en el mes de octubre se encontró 2 microor/100ml, y en el mes de noviembre y diciembre 1 microor/100 respectivamente.

**Figura 32 Coliformes fecales y totales en el río ingenio.**



## 5. DISCUSIÓN

El incremento térmico puede estar influenciado por causas naturales como en descenso en la altura a nivel del mar. También se puede ver afectada por el clima en el momento en la toma de muestras, ya que la **Temperatura** del agua tiende a estar en equilibrio con la atmósfera local. Además de las causas naturales que contribuyen al aumento de la temperatura, se dan causas antrópicas que aceleran aun mas los efectos del calentamiento del agua, relacionadas principalmente con la desprotección del cause y con la actividad agrícola cerca de las riveras. Los efectos que producen las altas temperaturas sobre los cuerpos de aguas pueden llegar a ser irreversibles, si se tiene en cuenta que esta condiciona algunas propiedades químicas y biológicas.

Según el Decreto 475 del 10 de marzo de 1998, la **Alcalinidad y pH**, están dentro de los rangos admisibles para agua potable. No sucede lo mismo con el **Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**, en las estaciones 3 y 4, donde se observan evidencia clara que revelan un alto grado de descomposición de materia orgánica, procedente de las descargas de aguas servidas domésticas e industriales, como son el lavado del café y la producción panelera, los cuales pueden ser los factores, que estén afectando los valores de CO<sub>2</sub>. Los valores de **Alcalinidad** en las 4 estaciones, son mayores a 24 mg/l, lo cual revela que la fuente de agua presenta una propiedad amortiguadora que permite que el agua reciba sustancias ácidas sin sufrir cambios fuertes en su pH debido fundamentalmente a la presencia de bicarbonatos, ya que estos reaccionan o absorben los iones Hidrógeno para constituir otras moléculas que no le dan acidez al agua. La fuente de agua tiene un **pH** cercano a la neutralidad, relacionado estrechamente con los niveles de alcalinidad, constituyéndose en un estabilizador natural frente a los cambios naturales como las lluvias ácidas y cambios antrópicos como la incorporación de agroquímicos a los suelos que por infiltración o escorrentía puedan llegar a la fuente hídrica, sin embargo el rango en que oscila el pH se encuentra dentro de lo establecido para consumo humano (6.5 – 9 UpH).

En las cuatro estaciones de estudio el **Oxígeno Disuelto (OD)**, se encuentra dentro del rango establecido para aguas dulces que según Urrego y Ramírez<sup>78</sup> oscila entre 6 y 8 mg/l. La topografía del terreno en la estación 2 Bocatoma, favorece la oxigenación por las caídas de agua que presenta su cause. Otras de las condiciones que influyen dicho comportamiento, tiene que ver con la topografía semiplano del terreno que no favorece una excelente oxigenación de sus aguas. Sumado a esto hay un mayor consumo de oxígeno en la descomposición de materia orgánica presentada por el vertimiento de aguas negras y

---

<sup>78</sup> URREGO, Adriana y RAMÍREZ, John. Cambios diurnos de variables físicas y químicas en la zona de rital del río Medellín, Colombia. En : Caldasia, Vol. 22. No. 1. Bogotá : 2000, p. 127 - 141.

residuos sólidos provenientes de 8 viviendas aledañas, además su lecho rocoso absorbe más calor aumentando la temperatura, por lo tanto en oxígeno se solubiliza encontrándose menos disponible y reflejándose en el valor más bajo.

Los **Sólidos Totales, Suspendidos y Disueltos**, en todas las estaciones de muestreo cumplen con los rangos admisibles según el decreto 475 de 1998, aunque es necesario destacar que aumentan de la primera hasta la cuarta estación. Se asume que lo anterior sucede porque las lluvias arrastran partículas como arcillas, detritos orgánicos , o los mismos sedimentos que se remueven por efectos del aumento del caudal, además de la desprotección del cause ocasionada principalmente por las prácticas de agricultura, lo que contribuyen a erosionar los suelos ocasionando un arrastre de partículas que ayudadas por la topografía del terreno tienen como destino final el cause del río.

Los valores de **Conductividad**, también al igual que los sólidos van aumentando de la estación 1 a la estación 2, aunque estos datos se encuentran dentro de los intervalos de conductividad eléctrica de las aguas superficiales que varían de 10 a 100  $\mu\text{s/cm}$ , también se encuentran dentro del marco legal para destino de agua potable (50.000  $\mu\text{s/cm}$  ). La presencia de valores altos de conductividad que se dan en la estación 4, se deben en gran proporción a la acción de escorrentía y/o infiltración de desechos animales, que incrementan los valores naturales de sales y minerales disueltos, a demás se pueden relacionar los valores altos de conductividad de forma directamente proporcional con el contenido de sólidos totales, que al encontrarse suspendidos o disueltos en la fuente de agua pueden ser arrastrados por el caudal. El incremento de este parámetro está relacionado también con la pérdida de las condiciones oligotróficas de la fuente donde se registran los valores más altos de contaminación.

El parámetro **Cloruros**, se encuentra en todas las estaciones dentro de los rangos admisibles para agua potable (250 mg/l), sin embargo se encuentra alterado dentro del nivel establecido para aguas naturales y poder mantener el equilibrio y diversidad de la biota acuática este valor no debe superar los 5 mg/l. El hecho de encontrar alterado este parámetro para aguas naturales en todas estaciones, y en especial la estación 1 se puede relacionar con la existencia de escorrentía de zonas ganaderas y agrícolas principalmente. La concentración de cloruros tal vez sea el parámetro que más influya sobre la distribución y desarrollo de la biota acuática , debido a que ellos tendrían que adaptarse y vencer la presión osmótica ejercida por este parámetro. Los valores altos de cloruros en la estación 1 se pueden atribuir también a que el escaso caudal pueda concentrar este ión. La presencia del valor mas bajo de cloruros en la estación 2 se puede estar relacionada con la adición de nacimientos de agua que desembocan en este sitio, aumentando el solvente haciendo que la concentración sea menor.

Según el decreto 475 de 1998, los resultados de **Dureza** en esta fuente, se encuentra dentro de lo establecido para agua potable. A medida que desciende altitudinalmente, se encuentran mayor número de asentamientos humanos, por lo que se asume que los valores altos de dureza en la estación 4, se deben al vertimiento de aguas domésticas, ya que estas

arrastran consigo detergentes, jabones y otras sustancias. Además las prácticas agrícolas que se realizan en esta zona pueden alterar el equilibrio del ecosistema.

Los resultados obtenidos para el parámetro **Amonio** en las 4 estaciones se encuentran dentro de los rangos permitidos por el decreto 475 de 1998, estableciendo que el valor máximo permisible es de 1 mg/l; sin embargo para aguas naturales, el valor máximo debe ser 0.1 mg/l para mantener un buen funcionamiento y equilibrio del ecosistema. La estación 3 supera este valor, al igual que la estación 2 y 4 que se encuentran en el tope de 0.1 mg/l. Las concentraciones de amonio en estas estaciones se pueden relacionar con la descomposición del material orgánico que puede ser animal o vegetal y los desechos animales e insumos químicos utilizados en la agricultura. La presencia de amonio se condiciona por el ph, si se mantiene en la neutralidad impide la concentración. Se infiere que esta condición va acorde con la estabilidad y el comportamiento encontrado para estos parámetros, lo que estaría evitando la contaminación. Los **Nitritos y Nitratos** en las estaciones 1, 2 y 3 se encuentren dentro de los rangos permitidos para consumo humano (10 mg/l Nitratos y 0.1 para Nitritos), la estación 4 supera los niveles de Nitratos quienes pueden proceder según Cole<sup>79</sup> de la dilución de terrenos atravesados, los Nitritos se encuentran al tope con lo establecido, sin embargo esto puede ser por la reducción de los Nitratos bajo la influencia de una acción desnitrificante. Según Bohorquez y Ardila<sup>80</sup> el hecho que el ecosistema conserve un equilibrio representa que éste mantiene una constante oxigenación de las aguas, conllevando a una oxidación del Nitrógeno a óxido, los cuales pueden unirse con el agua y producir ácidos que al disociarse originarán otros iones como los Nitratos que son la forma química bajo la cual las algas y plantas pueden incorporar el Nitrógeno. Según Ruiz<sup>81</sup> los valores bajos de Nitratos se encuentran donde no hay contaminación y valores altos donde hay degradación de proteínas y materia orgánica. En la estación 1 presenta un valor bajo de Nitratos, al igual que todos los ríos de alta montaña andina, esto debido a que el agua corre en lechos pobres en nutrientes; a medida que desciende a la estación 4 el valor de los nutrientes aumenta considerablemente por el arrastre de sedimentos a causa de las lluvias en suelos erosionados, por el vertimiento de contaminantes domésticos e industriales (lavado del café) y actividades agrícolas.

Las concentraciones de **Sulfato** en las 4 estaciones de muestreo se encuentran dentro de las normas admisibles para consumo humano según el decreto 475 de 1998 que. no debe superar de 50 mg/l. Los sulfatos se pueden incrementar a causa de la escorrentía de aguas superficiales procedentes de cultivos que puedan aportar residuos de abonos y pesticidas cargadas de sulfatos. Para las agua de consumo humano se puede permitir hasta un máximo de 0.2 mg/l de **Fosfatos** para evitar efectos indirectos en la salud humana, según Bohorquez

---

<sup>79</sup> COLE. Op. cit., 1998, p. 381.

<sup>80</sup> BOHÓRQUEZ Y ARDILA. Op. cit., p. 8-28.

<sup>81</sup> RUIZ. Op. cit., p. 82

y Ardila<sup>82</sup> se ha comprobado que niveles superiores a 0.6 mg/l pueden producir Hepatitis. los valores registrados se incrementan de la primera a la cuarta estación aunque no sobrepasaron los límites, se puede decir que este aumento se da por la actividad agrícola, descargas de materia orgánica junto con fertilizantes y desechos animales. Caicedo y Palacio<sup>83</sup> citan en su trabajo que la disponibilidad de los fosfatos aumentan en un pH básico y disminuyen en un pH ácido. La alta acidez ocasiona también la formación de fosfatos de hierro (PFe) insolubles. En los trópicos, las altas temperaturas aumentan el metabolismo de las plantas y el fitoplancton lo que hace que los ortofosfatos se consuman más rápidamente, encontrándose por ello bajas concentraciones en el agua. Otra posible causa de las bajas concentraciones de fósforo es la retención del mismo por la vegetación circundante, la cual según Odum<sup>84</sup> y Payne,<sup>85</sup> atrapa los nutrientes, permitiendo que lleguen muy pocos iones al agua. Las selvas tropicales minimizan la pérdida de nutrientes por poseer asociaciones con micorrizas que reducen el tiempo que los iones libres están disponibles en el suelo para lixiviación. Como consecuencia puede concluirse que las aguas de escorrentía de los bosques de lluvia tropical serán particularmente pobres. Los niveles de **Hierro** en todas las estaciones se encuentra dentro de lo exigido por las normas para consumo humano. En general esta fuente no presenta alteraciones representativas en cuanto a este parámetro, pero se puede atribuir que la proporción de hierro en la estación 1 se relaciona principalmente a el bajo caudal lo que facilita la concentración de ese ión.

Las pruebas de **DBO y DQO**, nos permiten conocer la cantidad de materia orgánica presente en el agua determinando así el grado de contaminación de las fuentes en el punto de estudio y sus restricciones para su utilización, la **DBO** es la medida de oxígeno presente en el agua y la **DQO** incluye materia orgánica biodegradable y aquella resistente al ataque biológico. En la primera estación La Horqueta los niveles de DBO son bajos, para agua de consumo humano no tener una **DBO** significativa o por lo menos no superior a 4 mg/l salvo si se le aplican tratamientos particulares. La estación 2 Bocatoma supera los valores permitidos por el decreto, al igual que la estación 3 y 4, estos niveles altos se relacionan con las descargas de materia orgánica (aguas servidas domésticas y residuales) que se adicionan a estas zonas, a esto se suma la escasa cobertura vegetal que influye el incremento de estos niveles, ya que estos sirven como defensa contra la erosión, la retención de materiales fértiles y regulación de los intercambios agua-tierra, quienes ejercen un efecto depurador en las aguas; por lo tanto se en estas zonas donde los niveles son altos habrán microorganismos que descompongan estos desechos, esto se puede corroborar en la tabla 3, con los análisis bacteriológicos que indican contaminación (coliformes totales y fecales), los cuales necesitan de oxígeno para su desarrollo. A pesar de que la DBO es

---

<sup>82</sup> BOHÓRQUEZ Y ARDILA. Op. cit., p. 8-28.

<sup>83</sup> CAICEDO, Orlando y PALACIO, Jaime. Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada la Mosca (Guarne Antioquia). En : Actualidades Biológicas Vol. 20. No. 69. Medellín : 1998, p. 61-73.

<sup>84</sup> ODUM. Op. cit., 1993, p. 421.

<sup>85</sup> PAYNE. Op. cit., 1986, p. 189.

relativamente alta en la estación 4, el oxígeno se encuentra en concentraciones normales, esto se debe a la topografía del terreno y lo ancho del lecho que favorece la rápida recuperación y captación del oxígeno. La diferencia de **DBO Y DQO** permite observar que en la 4 estaciones los porcentajes de degradación son de 80, 81, 85 y 84% respectivamente, indicando una buena capacidad de degradación de materia orgánica, es decir una buena auto depuración, teniendo en cuenta que el 80% es considerado el rango ideal observando así que la estación 4 que es receptora de aguas negras y domésticas del corregimiento de El Ingenio, hay presencia de coliformes fecales aumentando por consiguiente los rangos de DBO y DQO.

En cuanto al **Componente Biológico**, la estación 2, según los índices de diversidad de Shannon y Simpson, reporta alta diversidad con el más alto número de familias y géneros colectados durante el estudio y la estación 4 baja diversidad con el menor número de familias y géneros encontrados. Se esperaba una muestra más representativa en la estación 1, sin embargo, la densidad y diversidad de los macroinvertebrados en esta estación puede estar relacionada con el bajo caudal, también se cree que puede estar influenciado por los niveles de cloruros registrados en la primera estación, siendo considerado este parámetro para muchos autores como el más influyente en la distribución de los organismos acuáticos, dado que para agua naturales de tipo lótico no debe superar los 5 mg/l. Según Riss, Ospina y Gutiérrez<sup>86</sup> otra razón que podría justificar la baja diversidad de organismos es igualmente la baja carga orgánica natural registrada para este tramo del río, lo que impide una reducida disponibilidad de alimento para la fauna acuática presente. Las bajas temperaturas de este sitio hace que se lleve a cabo una distribución limitante para un grupo reducido de taxa. Finalmente, la baja densidad poblacional puede estar también afectada por la desprotección del cause, donde se supone que en términos legales debe conservarse.

- **Macroinvertebrados Acuáticos y su relación con los parámetros fisicoquímicos.** Como dice Roldán<sup>87</sup> la cantidad de oxígeno disuelto, el grado de acidez o basicidad (ph), la temperatura, la cantidad de iones disueltos (conductividad), son los parámetros a los cuales son más sensibles los organismos, dichos parámetros varían fácilmente por efectos de la contaminación industrial y doméstica. Las especies que viven en un medio están adaptadas a las condiciones ambientales propias del medio y cualquier alteración de uno o de varios de sus factores, pueden significar la desaparición de una o varias especies. Cuando un ecosistema acuático llega a una fuente de contaminación, ya sea doméstica, agrícola o industrial, las condiciones fisicoquímicas de la agua cambian y para muchas especies la única alternativa es sobrevivir o morir. Los efectos biológicos de la contaminación se miden a través del cambio que experimentan las comunidades a medida que reciben descargas de desechos de diferente orden. El análisis de los parámetros fisicoquímicos y de macroinvertebrados indicaron en la estación 1 y 2, resultados satisfactorios desde el

---

<sup>86</sup> RISS, OSPINA Y GUTIÉRREZ. Op. cit., p.135-156

<sup>87</sup> ROLDAN. Op. cit., p.419.

punto de vista de calidad de agua, aunque los cloruros en la estación 1 son altos, están dentro del rango permitido por la ley para consumo, se creen que estos afectan de algún modo la diversidad. Cada uno de los parámetros sirvió para determinar las condiciones de estos ecosistemas. Es así como el abundante Oxígeno disuelto en estas dos estaciones, el ph cercano a la neutralidad, y las bajas temperaturas fueron algunos de los aspectos favorables en el establecimiento de algunas familias indicadoras de buena calidad de agua. Estos dos ecosistemas se caracterizan por presentar bajos niveles de nutrientes y de iones en el agua, hay que tener en cuenta que estos elementos son indispensables en el buen funcionamiento de las comunidades que se desarrollan en este medio y que de acuerdo a su concentración pueden ser limitantes para los organismos que se puedan encontrar. Es así como la cantidad y concentración de una determinada sustancia contaminante como lo indican los parámetros fisicoquímicos de las estaciones 3 y 4, pueden sobrepasar los rangos permisibles, dependiendo de las actuales características ecológicas de la zona y de la intervención que se le haga a la misma ya sea natural o por las actividades del hombre, y por ende, la evaluación de los efectos de las sustancias extrañas sobre la estabilidad de estos dos ecosistemas, pueden ser relevantes a largo plazo. En este sentido el índice de calidad biológica vuelve a ser de gran importancia.

Con lo que respecta a los **Análisis Bacteriológicos**, según el decreto 475 de 1998 para aguas de consumo humano, no debe presentar ningún microorganismo de coliformes fecales, sin embargo en la estación 2 que corresponde a la bocatoma se encontraron registros positivos en todos los meses de estudio, esto se puede atribuir a que el tanque de almacenamiento se encuentra descubierto como lo podemos observar en la **Figura 2** y es de fácil acceso al ganado u otros animales de sangre caliente, como se indica en la **Figura 13**, que se tomó 10 metros antes del tanque de abastecimiento. la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal en las estaciones 3 y 4 se deben a las descargas de aguas negras y domésticas que desembocan en estos puntos.

**Figura. 33. Estación 2 bocatoma.**



## 6. CONCLUSIONES

La microcuenca El Ingenio en su recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura presentó variaciones y alteraciones de los parámetros fisicoquímicos, biológicos y bacteriológicos, determinando así los diferentes estados de calidad de agua.

Tanto la estación 1 (Horqueta) como estación 2 (Bocatoma) indican condiciones de buena calidad de sus aguas, desde el punto de vista de los parámetros fisicoquímicos como por la presencia de macroinvertebrados acuáticos.

En la estación 2 (Bocatoma), el análisis bacteriológico, reportó un valor promedio a lo largo del estudio de 4 microorganismos / 100 ml, lo cual es preocupante; pero si se toman medidas correctivas para evitar esta contaminación tanto el sitio 2 al igual que el 1, son un gran depósito de agua que se puede aprovechar directamente para consumo humano y doméstico.

Los valores de Oxígeno disuelto para la estación 1 (La Horqueta) y 2 (Bocatoma), siempre se encontraron dentro del rango normal indicando condiciones óptimas del ecosistema. Igualmente el ph cercano a la neutralidad además de la alcalinidad media indican buena estabilidad del ecosistema.

Los bajos niveles de DQO y DBO indican que el agua de estas dos (Horqueta y Bocatoma) estaciones no presenta contaminación por materia orgánica.

Las características de aguas oligotróficas de la estación 1 (La Horqueta) se ve ligeramente modificadas por los altos niveles de cloruros, sin embargo sus concentraciones no son definitivas y por ende no alteran su calidad.

La estación 3 (Planta Hidroeléctrica) presenta una modificación tanto de los parámetros fisicoquímicos (CO<sub>2</sub>, Fosfatos y DBO) como biológicos (diversidad media) y bacteriológicos (presencia de coliformes fecales), dando a conocer que su alteración se debe a las diferentes actividades realizadas como el turismo, las prácticas de agricultura y las aguas desechadas por algunas viviendas aledañas.

La estación 4 (El Salado) en comparación con las tres estaciones anteriores presenta mala calidad de sus aguas según el análisis de parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos como de macroinvertebrados acuáticos, indicadores de estas condiciones. Esto debido a las descargas de aguas negras domésticas e industriales (lavado del café) que recibe la fuente en este punto.

La composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en la estación 1 (La Horqueta), según el índice de diversidad de Simpson es de baja diversidad y alta dominancia; según Shannon, la diversidad en esta estación es media

La estación 2 y 3 que corresponden a las estaciones Bocatoma y Planta hidroeléctrica, según Simpson presentan diversidad y dominancia media y según Shannon en estas estaciones la diversidad es alta.

La estación 4 registra muy baja diversidad o muy alta dominancia según el índice de diversidad de Simpson, y una diversidad baja según el índice de Shannon.

El índice de similitud indica que existe muy baja semejanza entre las estaciones: 1 (La Horqueta) y 4 (El Salado) como también 2 (Bocatoma) con 4 (El Salado).

Los resultados con el índice BMWP determinaron que en la estación 1 (La Horqueta) y estación 2 (Bocatoma), los macroinvertebrados acuáticos encontrados, indican una muy buena calidad de agua.

Según el índice BMWP las aguas de la estación 3 Planta Hidroeléctrica poco alteradas

Los resultados obtenidos mediante el índice BMWP determinaron que la macrofauna encontrada en la estación 4 (El Salado) clasifican esta agua como de mala calidad por su alto grado de contaminación.

La variación de la calidad del agua en las cuatro estaciones de muestreo desde el nacimiento hasta su desembocadura tienen correlación los resultados de parámetros fisicoquímicos como los obtenidos mediante el análisis de macroinvertebrados acuáticos, ya que estos organismos se adaptan, sobreviven o mueren a las condiciones del medio.

La erosión de los suelos, las actividades antrópicas como la deforestación, las prácticas inapropiadas de agricultura, los monocultivos, la utilización de agroquímicos y las visitas turísticas, están produciendo alteraciones significativas a esta microcuenca

## 7. RECOMENDACIONES

Velar por que los árboles sembrados en la estación 1 en las ocho hectáreas adquiridas por el municipio para recuperación y aumento del caudal, lleguen a su madurez, ya que el agua en este sitio es muy poca y a corto plazo puede acabarse.

Se debe proteger todas las riveras de la microcuenca, respetando al menos cinco metros hacia adentro.

Aislar la zona donde se encuentra ubicado el tanque de almacenamiento del acueducto para evitar que el ganado haga contacto con él, debido a que este se encuentra descubierto, de otro modo no hubiera posibilidad de infección por coliformes fecales.

Tomar medidas de prevención a través de obras de tipo sanitario y realizar campañas y programas de educación ambiental dirigidas a la comunidad de El Ingenio y casco urbano del municipio de Sandoná, emprendidas por parte de las instituciones dedicadas a la conservación de este importante recurso hídrico.

Tener en cuenta los resultados obtenidos en este estudio para futuros proyectos de agua potable, planificación de manejo de cuencas, implementación de actividades eco turísticas y manejo ambiental de esta fuente como un ecosistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDÍA MUNICIPAL DE SANDONA. Plan de Ordenamiento Territorial. 2001-2010. p. 1232.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). American Water Works association (AWWA). Y Pollution control, federation (WPCF). Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho. México : Interamericana, 1998. p. 1025.
- BERNABÉ, Gerard. Bases biológicas y ecológicas de la acuicultura. Zaragoza : Acribia, 1996. p. 519.
- BLANCO, Carmen. La trucha : Cría Industrial. Madrid : Mundi – Prensa, 1984. p. 238.
- BOHÓRQUEZ, Amparo y ARDILA, Luis. Ecología de Aguas Continentales: manual.: postgrado de Ecología, Medio Ambiente y Desarrollo. UNINCCA, Santa Fe de Bogotá : 1996, p.150.
- BORREGO, John; MORIÑO, Mario; CORNAX, Ronald y ROMERO, Paúl. Coliphages as on indicator of fecal pollution in water, its relationship with indicator an pathogenic microorganisms. Water research : 1987, p. 1473.
- BORROR, Donald y DELONG, Dwight. An Introduction to the study of insects. 3 ed. New York : 1971. p. 812.
- BRANCO, S. Limnología sanitaria. Estudio de la polución de aguas continentales OEA. Programa nacional de desarrollo científico y tecnológico. Washington : 1997, p. 234.
- CAICEDO, Orlando y PALACIO, Jaime. Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada la Mosca (Guarne, Antioquia). En : Actualidades Biológicas Vol. 20. No. 69. Medellín : 1998, p. 61-73.
- COLE, Grald. Manual de Limnología. Montevideo : Hemisferio Sur, 1988. p. 405.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Investigaciones de fomento forestal COFIN. En : Manual de métodos y procedimientos. Santa Fe de Bogotá : 1999. p. 69.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE RELACIONES EXTERNAS. “Informe nacional para la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo ”. Bogotá : 1992. p. 51.

\_\_\_\_\_ . Expedición de normas técnicas de agua potable. Decreto 475 1998. 68 p.

EDMONSON, W. Fresh – Water Biology. New Cork : 1959. Vol. 2, p. 1050.

ESCOBAR, Antonio. Estudio de las comunidades macrobénticas en el río Manzanares y sus principales afluentes y su relacion con la calidad del agua. En : Actualidades biológicas Vol. 18. No. 65. Medellín : 1989, p. 45 - 60.

ESTÉVEZ, Frank. Fundamentos de limnología. Editorial Interciencia Ltda. Río de Janeiro : 1982, p. 420.

GORDON, Thomas. Ecological diversity and Its Measurement, [enlinea] [New Brunswick, Canadá ]. 1988. Disponible en Internet : URL : [Htp : // web.minambiente. gov.co/biogeo /menu/ herramientas /software.html.alma](http://web.minambiente.gov.co/biogeo/menu/herramientas/software.html.alma) . 11 p.

HARE, Jonathan y RAMSAY, Paul. Acuatic invertebrate communities of Ecuadorian waterfall pools: the effects of altitude an associated variables. The ecology of volcán Chiles: high-altitude ecosystems on the Ecuador-Colombia. Border. Plymouth pebble & Shell. 2000. p., 193-199.

HYNES, H. The biology of polluted waters. University of Toronto. Press Ontario : 1974, p. 451.

INSTITUTO COLOBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma 1486 (Quinta actualización)documentación. Presentación de Tesis. Trabajos de gado y otros trabajos de investigación. 86 p.

\_\_\_\_\_ . Norma 1487 (Segunda actualización) Documentación. Citas y notas de pie de página. 15 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM) : El medio ambiente en Colombia. Santa Fe de Bogotá : IDEAM,. 1988. 495 p.

MARGALEF, Ramon. Limnología. OMEGA, Barcelona : 1983. p. 1010.

MATHIAS, U. y MORENO, H. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos del río Medellín y sus principales afluentes. En : Actualidades Biológicas Vol. 12. No. 46. Medellín : 1983, p. 106-117

MERRITT, Richard; CUMMINS, Kenneth w. An introduction to the acuatic insectos of North America. Tercera edición. Kendal / Hunt publishing company. Unite States of America: 1996. 862 p.

MONTEJANO, Gustavo y CANTORAL, Enrique. Comunidades acuáticas, insectos y ácaros indicadores de la calidad del agua en los ríos permanentes de la región poniente del Distrito Federal (MAGDALENA CONTRERAS, ÁLVARO OBREGÓN Y CUAJIMALPA). México : 2.000. p. 182.

MORENO, Claudia. Métodos para medir la biodiversidad. M & T – Manuales y Tesis. SEA. Zaragoza, 2001. Vol. 1, p. 412.

NEEDHAN, James y NEEDHAN, Paul. Guía para el estudio de los seres vivos de las agua dulces. Barcelona : Reverté, 1982. p. 131.

ODUM, Eugene. Ecología. México : Interamericana, 1985, p. 580.

PALACIO, John. Die benthische. Makroinvertebrates der troches Astuarregion Cienaga Grande Santa Marta (Kolumbien) un ihre activitat im wechsel Zwisthen trocken un regenzeit. Diss. Dr Univ Bochun. Alemania Federal : 1983, p. 235.

QUIÑONES, Martha; RAMÍREZ, John Jairo y DÍAZ, Abel. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivadores en la zona del ritral del río Medellín. En : Actualidades Biológicas Vol. 20 No. 69. Medellín : 1998, p 75-86.

RAMIREZ, Amparo y PRINGLE, C. Invertebrate drift and benthic community dynamics in a lowland neotropical stream. Hidrobiología. Costa Rica : 1988, p. 19.

RHEINHEIMER, Gerhard. Microbiología de las aguas. Zaragoza : Acribia, 1987. p. 299.

RODIER, J. Análisis de las aguas : Aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar. Barcelona : OMEGA, 1981. p. 1059.

ROLDAN, Gabriel; VELÁSQUEZ, Fernando y MACHADO, Tito. Ecología. La Ciencia del Ambiente. Norma, Bogotá : 1981, p. 264.

ROLDAN, Gabriel; POSADA, José y GUTIÉRREZ, Juan. Estudios Limnológicos de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. Bogotá. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: Guadalupe: 2001. p. 152.

ROLDAN, G. ; TRUJILLO, C. y SUÁREZ, A. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín . En : Actualidades Biológicas Vol. 2 No.5. Medellín : 1973, p. 54-59.

ROLDÁN, Gabriel. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín : Universidad de Antioquia : 1992. p. 529.

Estado Actual de la Limnología en Colombia: proyectos y perspectivas. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa fe de Bogotá : 1994, p. 23.

\_\_\_\_\_. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Bogotá : Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Centro de Investigaciones, CIEN, 1988. p. 217.

\_\_\_\_\_. Manual de Limnología. Guía teórico práctica, Medellín : Universidad de Antioquia. 1987. p. 215.

\_\_\_\_\_. [enlinea] Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua : Universidad de Antioquia. Departamento de biología. 1998. p. 32. Disponible en Internet : URL: [grolan@matemáticas.udea.edu.co](mailto:grolan@matemáticas.udea.edu.co).

ROSEMBERG, D. Introduction to freshwater monitoring and benthic macroinvertebrates. En: Yuka Shimisu (ed). Memorias seminario internacional macroinvertebrados acuáticos. Cali : 1993, p. 153.

RUIZ, Enrique. Calidad del agua en Colombia. HIMAT. Bogotá : 1988, p. 94.

SHANNON, C. E. Y W. WEAVER. The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press, Urbana, II, 1949. 42 p.

SLACK, John. River water quality in Essex during and after the 1976 drought. Effluent Treatment Vol. 17. 1977, p. 575-578

SIMPSON, E. H. Measurement of diversity. Nature, 1949. 87 p.

THORP, James; CORICH, Alan. Ecology and classification of North America fresh water invertebrates. Academic press, San Diego California : 1991. p. 911.

URREGO, Adriana y RAMÍREZ, John. Cambios diurnos de variables físicas y químicas en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. En: Caldasia Vol. 22 No. 1. Bogotá : 2000, p. 127-141.

VALLENTINE, John. Introducción a la limnología. Barcelona : OMEGA, 1978. p. 498

VANNOTE, R. The River Continuum Concept. Fish. Aquat. Sci. Vol. 37. Canadá : 1980, p.130-137.

VERGARA, Rodrigo; GÓNGORA, Francisco; PRIETO, Miguel y GALEANO, Pedro. Inventario de la entomofauna acuática de la quebrada Padilla fuente del acueducto de Honda (Tolima). En : Revista Colombiana de Entomología. Vol 20 No. 2. Publicación oficial de la Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá : (Abril a junio). 1994, p. 115 – 123.

WETZEL, Robert. Limnología. Barcelona: OMEGA, 1981. P. 679.

WOLFANG, Riss; OSPINA, Rodolfo y GUTIÉRREZ, Juan. Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la Sabana de Bogotá. En: *Caldasia* Vol. 24 No. 1. Bogotá :2002, p.135-156.

WHEATON, Frederick. *Acuicultura : Diseño y construcción de sistemas*. México : ACT, 1982. p. 679.

YATES, Marian. *Biomonitoring of environmental contamination*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona : 1990, p.152.

ZAMORA, Hilder. Adaptación del Índice BMWP para la evaluación biológica de las aguas epicocontinentales en Colombia. Popayán : Universidad del Cauca, Departamento de Biología, 1999. p. 47 – 56.

ZÚÑIGA DE CARDOZO, María del Carmen; ROJAS, Angela, y CAICEDO, Guadalupe. Indicadores Ambientales de la calidad de agua en la cuenca del río Cauca. En : *Revista AINSA*. Vol.13. No. 2. Medellín : (Julio a Diciembre de 1993). 17 – 28 p.

ZÚÑIGA DE CARDOZO, María del Carmen. ROJAS, Ángela. SERRATO, Clemencia. Interrelación de indicadores ambientales de calidad en cuerpos de aguas superficiales del Valle del Cauca. En : *Revista Colombiana de Entomología*. Vol. 20 No. 2. Publicación Oficial de la Sociedad Colombiana de Entomología. (Abril a Junio. 1994). 124 – 130 p.