

**EVALUACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS
BENTONICOS Y LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA EN LA PARTE
ALTA DE LA QUEBRADA EL CARRACÁ DEL MUNICIPIO DE LOS SANTOS
DEPARTAMENTO SANTANDER**

JOSÉ CRISTIAN CALDERÓN RUEDA

**BUCARAMANGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
2004**

**EVALUACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS
BENTONICOS Y LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA EN LA PARTE
ALTA DE LA QUEBRADA EL CARRACÁ DEL MUNICIPIO DE LOS SANTOS
DEPARTAMENTO SANTANDER**

JOSÉ CRISTIAN CALDERÓN RUEDA

Monografía para optar al título de Especialista en Química Ambiental

**Director: Dr. GERMAN CAMARGO
Codirector: Biólogo RICARDO RESTREPO**

**BUCARAMANGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
2004**

DEDICATORIA

A Sonia Milena

A mi hermana CLAUDIA PATRICIA, por apoyarme desinteresadamente, gracias a ella logré este anhelado triunfo.

Con todo mi amor a CHRISTIAN FELIPE, mi motivo para ser feliz,

Con especial cariño a mis PADRES y HERMANOS.

José Cristian

AGRADECIMIENTOS

De la manera más sincera y cordial A:

GERMAN CAMARGO RESTREPO: Director de la Estación Biológica Guaya canal. Director del Proyecto

RICARDO RESTREPO: Líder Técnico del Laboratorio de Bioensayos de ECO PETROL-ICP, Codirector del Proyecto, por sus grandes aportes científicos y gran colaboración

JAIRO PUENTES BRUGES: Director del Centro de Investigaciones Ambientales de la Universidad Industrial De Santander

ALVARO VILLAR GARCIA: Químico Especialista en aguas de producción

ALVIO ESPINOSA SAFAR: Director Científico del Laboratorio de Servicios Integrados para la Industria de Alimentos y el Medio Ambiente (SIAMA)

JOHANA LAYTON. Químico. Laboratorio de Consultas Industriales de la Universidad industrial de Santander.

YOLANDA OTERO RODRIGUEZ, Especialista en Química Ambiental. Jefe de Planta Acueducto de Piedecuesta.

GRISELDA JAIMES LIZARAZO. Especialista en Orientación y Asesoría Educativa

A todos los docentes compañeros y personal administrativo de la Especialización en Química Ambiental, UIS y aquellas personas que contribuyeron para la culminación de este estudio.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	pág. 1
1. CALIDAD DEL AGUA	2
1.1 CONTAMINACION DEL AGUA	3
1.1.2 Origen de los contaminantes en el medio hídrico	3
1.1.3 Alteraciones químicas del agua	7
1.1.4 Efectos de la contaminación del agua	7
2. COMUNIDADES DE AGUA DULCE	9
2.1 HABITAT LENTICOS	9
2.2 HABITAT LOTICOS	10
2.2.1 Los macroinvertebrados	12
3. INDICES DE CALIDAD DEL AGUA	15
3.1 INDICES FISICOQUÍMICOS	15
3.2 INDICES BIOTICOS	15
3.2.1 Índice de monitoreo biológico (B.M.W.P)	16
3.2.2 Cálculo del índice BMWP e interpretación de resultados	17
3.2.3 Ventajas de los índices bióticos	18
3.2.4 Premisas para la evaluación de la calidad biológica del agua	20
4. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA	22
4.1 PARAMETROS FISICOS DEL AGUA	22

4.1.1	Turbiedad o turbidez	22
4.1.2	Color	22
4.1.3	Conductividad	23
4.1.4	Sólidos	24
4.1.5	Temperatura	25
4.2	PARAMETROS QUÍMICOS DEL AGUA	26
4.2.1	Alcalinidad	26
4.2.2	Dureza	28
4.2.3	Cloruros	29
4.2.4	Fosfatos	30
4.2.5	Nitrógeno	33
4.2.6	Nitritos	35
4.2.7	Nitratos	35
4.2.8	Sulfatos	35
4.2.9	Oxígeno disuelto	36
4.3	DECRETO 1594 DE 1984	36
4.4	DECRETO 475 DE 1988	38
5.	TRABAJO EXPERIMENTAL	39
5.1	DESCRIPCION DEL ECOSISTEMA	39
5.2	DESCRIPCION DE LA QUEBRADA	39
5.3	PROCEDIMIENTO EN CAMPO	40
5.3.1	Recolección de los macroinvertebrados	40

5.3.2 Muestreo de agua para análisis fisicoquímico y microbiológico	42
5.4 ANALISIS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS	43
5.4.1 Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, agua cruda quebrada El Caracha	44
5.4.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, agua cruda río de Oro Piedecuesta	48
5.5 ANALISIS DE MUESTRAS BIOLÓGICAS	52
5.6 ANALISIS DE ENSAYO DE TOXICIDAD	52
6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	54
6.1 INTERPRETACIÓN, ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS	54
6.2 INTERPRETACIÓN ANÁLISIS BIOLÓGICO	56
6.2.1 Características morfológicas y hábitat de las familias de macroinvertebrados encontrados en la quebrada El Carracá del municipio de Los Santos	56
6.2.2 Categorías principales de consumidores invertebrados de la Quebrada El Carracá de acuerdo a su hábito alimenticio	64
6.2.3 Calidad del agua	65
6.3 INTERPRETACION DEL ENSAYO DE TOXICIDAD	65
CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	69

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sustrato artificial	41
Figura 2. Organismos recolectados en frascos	42
Figura 3. Baetidae	56
Figura 4. Coenagrionidae	57
Figura 5. Gyrinidae	58
Figura 6. Hydroptilidae	58
Figura 7. Hydropsychidae	59
Figura 8. Libelliulidae	60
Figura 9. Lymanaedae	60
Figura 10. Naucoridae	61
Figura 11. Simuliidae	62
Figura 12. Tipulidae	63
Figura 13. Tubificidae	64

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP	17
Tabla 2. Clases de calidad de agua	18
Tabla 3. Condiciones de alcalinidad	27
Tabla 4. Clasificación de dureza	28
Tabla 5. Clases de compuestos de fósforo de importancia en sistemas acuosos	32
Tabla 6. Criterios de calidad admisibles del agua para consumo humano y doméstico	37
Tabla 7. Criterios organolépticos y físico de la calidad del agua potable.	38
Tabla 8. Muestra número 1. parte alta de la quebrada El Carracá en época de lluvias	44
Tabla 9. Muestra número 2. tomada a 800 metros aguas abajo del nacimiento la quebrada El Carracá en época de lluvias.	45
Tabla 10. Muestra número 3. parte alta de la quebrada El Carracá en época de sequía	46
Tabla 11. Muestra número 4. tomada a 800 metros aguas abajo del nacimiento la quebrada El Carracá en época de sequía	47
Tabla 12. Muestra número 5. agua cruda quebrada La Honda en época de sequía	48
Tabla 13. Muestra número 6. agua cruda del río de Oro del municipio Piedecuesta en época de sequía.	49

Tabla 14. Muestra número 7. agua cruda del río de Oro del municipio Piedecuesta en época de lluvias	50
Tabla 15. Resumen de resultados, pruebas fisicoquímicas y microbiológicas de calidad de agua	51
Tabla 16. Familias de macroinvertebrados encontrados en la quebrada El Carracá del municipio de Los Santos	52
Tabla 17. Clasificación de toxicidad	53

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Descripción cartográfica del Ecosistema ubicado en la Estación Biológica Guayacanal y su microcuenca quebrada El Carracá del municipio de Los Santos	72
Anexo B. Resultados fisicoquímicos parte alta de la quebrada El Carracá en época de lluvias	73
Anexo C. Resultados microbiológicos parte alta de la quebrada El Carracá en época de lluvia	74
Anexo D. Resultados microbiológicos tomada 800 metros aguas abajo de la quebrada El Carracá en época de lluvia	75
Anexo E. Resultados microbiológicos parte alta de la quebrada El Carracá en época de sequía.	76
Anexo F. Resultados microbiológicos tomada 800 metros aguas abajo de la quebrada El Carracá en época de sequía	77
Anexo G. Resultados microbiológicos quebrada La Honda en época de sequía	78

GLOSARIO

BIODIVERSIDAD: Variedad de organismos vivos que conforman los distintos ecosistemas y complejos ecológicos.

BIOMASA: Masa total de organismos por unidad de superficie

BENTOS: Seres acuáticos que viven en la interfase agua sólido

CICLO HIDROLÓGICO: Reciclaje del agua, en todas sus formas, sobre la tierra

COMUNIDAD: Conjunto de poblaciones que viven en un determinado ecosistema

CONTAMINACIÓN: Toda alteración indeseable, física, química o biológica de los suelos, el agua o el aire que puede afectar, adversamente o no, la salud humana, las actividades de supervivencia y los recursos culturales de una comunidad humana o de otras especies (Decreto 9481/95)

DEPREDACIÓN: Interacción en la cual algunos individuos se alimentan de otros

ECOSISTEMA: Conjunto de seres vivos en un mismo medio y el medio ambiente que le es propio, constituye la unidad funcional básica de la ecología

EUTRIFICACION: Enriquecimiento de nutrientes de modo artificial en las aguas, produciendo un crecimiento anormal de animales y vegetación por agotamiento del Oxígeno

FAMILIA: Unidad taxonómica constituida por varios géneros con caracteres comunes

HABITAT: lugar o área que ocupa una especie

MEDIO AMBIENTE: Espacio en el que el ser vivo, recibe estímulos, se adapta e interactúa con una serie de factores físicos, biológicos y sociales que determinan su modo de comportarse o de ser

OLIGOMESOTROFICOS: Organismos acuáticos que requieren condiciones menos exigentes (medianas) de las condiciones descritas para organismos oligotrofos.

OLIGOTROFICOS: Organismos acuáticos que requieren condiciones en las aguas con baja concentración de nutrientes, turbiedad y temperatura, y alta contenido de oxígeno disuelto. Bioindicadores de aguas limpias y claras.

PLANCTON: Comunidad formada por plantas, animales y bacterias que viven en suspensión en el agua

PESTICIDAS: Sustancias empleadas para controlar o destruir las plagas de animales o plantas: insecticidas, funguicidas y herbicidas

RESUMEN

Titulo: EVALUACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS Y LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA EN LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA EL CARRACÁ DEL MUNICIPIO DE LOS SANTOS DEPARTAMENTO DE SANTANDER.*

Autor: José Cristian Calderón Rueda

Palabras Claves: macroinvertebrados, bentónicos, calidad del agua, análisis fisicoquímicos, análisis biológicos

Descripción:

El propósito de la realización del siguiente trabajo de investigación es evaluar la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad fisicoquímica del agua en la parte alta de la quebrada El Carracá, del municipio de Los Santos para ello se utilizaron análisis fisicoquímicos y análisis biológicos. Los monitoreos biológicos, y la toma de muestras para análisis fisicoquímicos se realizaron simultáneamente en época de lluvias y en sequía para que exista una relación de las muestras analizadas.

Para caracterizar la comunidad de macroinvertebrados por familias se utiliza el Índice de Monitoreo Biológico (BMWP), el cual clasifica los invertebrados acuáticos por familias, luego de identificados los organismos se puede clasificar la calidad del agua y para evaluar la calidad fisicoquímica del agua, se compara con los parámetros admisibles para aguas de consumo humano según los Decretos 1594 de 1984 y 475 de 1998.

Durante la realización de los muestreos biológicos, fueron encontradas 11 familias de macroinvertebrados y la calidad biológica del agua arrojó como resultado un agua calidad aceptable, que indica evidencia de algunos efectos de contaminación. Los análisis fisicoquímicos realizados fueron: pH, Color, Turbiedad, Conductividad, Sólidos totales, Sulfatos, Alcalinidad total, Dureza, Cloruros, Hierro, recuento de Mesófilos, Coliformes totales y Coliformes fecales.

* Monografía

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. CAMARGO, German y RESTREPO, Ricardo.

SUMMARY

Title: EVALUACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTHOS COMMUNITY THE PHYSICAL-CHEMICALS QUALITY OF THE WATER IN THE HIGH PART OF THE CARRACA STREAM, FROM LOS SANTOS MUNICIPALITY FROM SANTANDER DEPARTMENT.*

Author: José Christian Calderón Rueda

Key words: macroinvertebrates, benthos, water quality, physical-chemicals analysis, biologic analysis

Description

The purpose of realization the following investigations study is evaluate the macro invertebrates benthos community and the quality physical- chemicals of the water in the high part the Carracá stream from Los Santos municipality, for that it will use physical -chemicals analysis biological. The biological monitories and samples take for analysis physical-chemicals they realized simultaneously in rains and in droughts for that exists a report of the samples analyzed.

For characterizing the community benthos it used the index of biological monitored (BMWP), that classifies invertebrates aquatic by families, once identified the organisms it classifies the quality of the water; it confronts with parameters admissible for human consumption according 1594 decree of 1984 and 475 of 1998.

During the realization of our biological samples, they were found eleven families of macro invertebrates and the biological quality of water gave as a result of quality acceptable, that indicate evidence of some effects of contamination. The physical -chemical analysis were : pH, coloring, turbidity, conductivity, total solids, sulfates, total alkalinity, duress, (hardness) Chlorides, Iron, recount of mesófilos total Coliformes and fecal coliformes

* Thesis project

** Science Faculty School of Chemistry. CAMARGO, German y RESTREPO, Ricardo.

INTRODUCCIÓN

Interesado en contribuir a la conservación de una microcuenca, en conocer la calidad del agua e identificar las comunidades acuáticas vivientes, básicamente macroinvertebrados bentónicos, se realizó el siguiente trabajo de investigación con el propósito de caracterizar los organismos presentes y estimar la calidad del agua de una manera científica y ambientalmente confiable. Además, otra intención fue la de propender para que la Estación Biológica Guaya canal siga conservando el ecosistema y su entorno, para así contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas que la rodean, toda vez que van a beneficiarse de un agua no contaminada, ya que los organismos acuáticos contribuyen a depurar la materia orgánica existente, producida por el desprendimiento de material vegetal cuando hay crecidas en la microcuenca.

En esta investigación se tratan los siguientes temas: un glosario ecológico con los principales términos técnicos empleados, y seis capítulos: Calidad del agua, Comunidades de agua dulce, Índices de calidad del agua, Parámetros fisicoquímicos del agua, Trabajo experimental e Interpretación de resultados; todos redactados de manera sencilla y accesible, para que el lector entienda fácilmente su contenido.

Es de señalar, que siendo la Química Ambiental una rama de la química que estudia la relación del hombre con los recursos agua, aire y suelo, es ésta un pilar fundamental para lograr la promoción en el individuo del amor a la vida, y el medio ambiente, de tal manera que la sociedad y el ambiente interactúen conjuntamente como miembros del medio natural y al mismo tiempo sujetos a un compromiso social, responsables de mejorar la calidad de vida y tomar decisiones sobre el uso racional de los recursos naturales; de esta forma se comprenderá, se analizará y se dará cuenta de los problemas ambientales, para afrontarlos, especialmente el mal uso, y deterioro del recurso hídrico.

1. CALIDAD DEL AGUA

Condición general que permite que el agua se utilice para usos concretos; por ejemplo se debe saber los criterios admisibles de calidad del agua cuando se destina a: uso agrícola, pecuario, industrial, estético, fines recreativos, preservación de flora y fauna, y para consumo humano y domestico que es el desarrollo del siguiente estudio.

La calidad del agua está determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua a que se refiera. Las características hidrológicas son importantes ya que indican el origen, cantidad del agua y el tiempo de permanencia, entre otros datos. Estas condiciones tienen relevancia ya que, según los tipos de sustratos por los que viaje el agua, ésta se cargará de unas sales u otras en función de la composición y la solubilidad de los materiales de dicho sustrato. Así, las aguas que discurren por zonas calizas (rocas muy solubles) se cargarán fácilmente de carbonatos, entre otras sales. En el otro extremo, los cursos de agua que discurren sobre sustratos cristalinos, como los granitos, se cargarán muy poco de sales, y aparecerá en cantidad apreciable la sílice.

El agua encontrada en estado natural nunca está en estado puro, sino que presenta sustancias disueltas y en suspensión. Estas sustancias pueden limitar, de modo igualmente natural, el tipo de usos del agua. Las aguas hipersalinas o muy sulfurosas, por ejemplo, no se pueden usar como agua potable o de riego. En estos casos, con frecuencia, el carácter del agua la hace indicada para un

uso reservado a la conservación, pues suelen albergar comunidades naturales raras.

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación; pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamamos los residuos producidos por nuestras actividades: Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, entre otros, se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo.

1.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, pesticidas, metales pesados, residuos radiactivos, y el calor que es considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen. Estos materiales deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos, muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida.

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, las basuras producidas por la actividad humana.

1.1.1 Origen de los contaminantes en el medio hídrico. Las fuentes de contaminación más importantes son:

* **Aguas residuales procedentes de poblaciones:** En ellas se incluyen:

Aguas Negras: También llamadas aguas fecales o sanitarias. Es una combinación de las producidas por los retretes y las procedentes de usos domésticos.

Aguas Pluviales: Esta agua arrastra sustancias presentes en la atmósfera, polvo, iones, entre otras. Esto es más notable en zonas industriales y grandes aglomeraciones urbanas.

De las aguas residuales procedentes de poblaciones las más relevantes son:

- Aguas de limpieza pública: Generalmente en pequeño volumen. Su grado de contaminación depende de las condiciones locales.

- Aguas procedentes de usos domésticos: Se suelen denominar aguas grises, y se definen como las aguas procedentes de los usos domésticos antes de mezclarse con las aguas fecales. Proceden del lavado de ropa, limpieza, desperdicios de cocina. También incluyen las procedentes de edificios comerciales, fábricas situadas en las ciudades.

- Aguas utilizadas para la eliminación de excrementos. Su origen son los retretes y urinarios.

- Aguas residuales procedentes de las industrias. Son muy difíciles de clasificar debido a su variabilidad de composición y características.

- * Residuos sólidos procedentes de tierra o de los buques que se vierten directamente al mar.

- * Contaminantes líquidos y sólidos arrastrados por los ríos

- * Deposición de contaminantes vertidos a la atmósfera

* Petróleo procedente de: plataformas de operación y extracción, operaciones de limpieza y deslustre de tanques y accidentes marítimos.¹

1.1.2 Alteraciones físicas del agua

* **Color.** El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen.

Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación

* **Olor y Sabor.** Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.

* **Temperatura.** El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (Oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para consumo humano está entre 10 y 14°C.

* **Materiales en Suspensión.** Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura

¹ WINKLER, Michael. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Página. 294-296.

mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas).

* **Radiactividad.** La contaminación radiactiva puede ser originada por los radioelementos naturales que proceden de las capas geológicas atravesadas o de las industrias que utilizan las materias radiactivas naturales, principalmente Uranio, Torio, y Actino que dan origen a descendientes radiactivos que conducen finalmente a un isótopo estable de Plomo; y por los radioelementos artificiales especialmente productos de fisión que resultan de la utilización pacífica o militar de la energía atómica. (medicina, investigación, industria, explosiones nucleares)

Los riesgos debidos a la contaminación del agua son esencialmente los riesgos de irradiación interna como consecuencia de la ingestión de radioelementos. Cuando un radioelemento penetra en el organismo, su comportamiento es función de su estado fisicoquímico y de su metabolismo. Los radioelementos se eliminan según una ley exponencial caracterizada por un periodo efectivo debido al decrecimiento radiactivo y a la eliminación biológica. Pero, mientras se sitúan en el organismo, los radioelementos continúan emitiendo radiaciones y afectando diversos órganos por lo que se ha establecido unas concentraciones máximas admisibles (CMA) de estos elementos radioactivos en el agua.

* **Espuma.** Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutroficación). Disminuye el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.

* **Conductividad.** El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional

a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.

1.1.3 Alteraciones químicas del agua

* **pH.** Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales o por ácidos Húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando un sistema tampón o buffer Carbonato - Bicarbonato.

Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, entre otros.

* **Compuestos Orgánicos.** Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que perjudican a los seres vivos.

Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de la contaminación industrial e Hidrocarburos y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman Clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor.

Por lo tanto la contaminación con pesticidas, petróleo y otros hidrocarburos a las aguas naturales, es la contaminación más usual de los compuestos orgánicos.

1.1.4 Efectos de la contaminación del agua. Los efectos de la contaminación del agua incluyen los que afectan a la salud humana. La presencia de Nitratos (sales del ácido Nítrico) en el agua potable puede producir una enfermedad infantil que en ocasiones es mortal. El Cadmio presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo puede ser absorbido por las cosechas; de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones. Hace tiempo que se conoce de la peligrosidad de sustancias inorgánicas, como el Mercurio, el Arsénico y el Plomo.

Los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. Hay un problema, la eutroficación, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivo pueden ser los responsables. El proceso de eutroficación puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor y olor, y un cúmulo de algas o verdín desagradable a la vista, así como un crecimiento denso de las plantas con raíces, el agotamiento del Oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras. Otro problema cada vez más preocupante es la lluvia ácida, que ha dejado muchos lagos del norte y el este de Europa y del noreste de Norteamérica totalmente desprovistos de vida.

2. COMUNIDADES DE AGUA DULCE

2.1 HÁBITATS LÉNTICOS

En los ecosistemas de las aguas inmóviles, llamados lénticos (lagunas, pantanos y lagos de agua dulce), se pueden distinguir varios hábitats: una zona de aguas poco profundas próxima a la orilla (zona litoral); una zona de aguas abiertas superficiales que recibe luz suficiente para que pueda producirse la fotosíntesis (zona limnética o pelágica) y una zona, que se sitúa debajo de la anterior, en la que la luz no llega con la intensidad suficiente para que pueda desarrollarse la fotosíntesis (zona profunda).

La zona de aguas poco profundas o zona litoral está dominada por la vegetación sumergida, flotante y emergente, entre la cual abundan las comunidades acuáticas. Por ejemplo, bajo una verde capa de lentejas de agua flotantes viven desmidiáceas, protozoos, diminutos crustáceos, hidras y caracoles. Las larvas de libélula, los escarabajos buceadores, los lucios y los peces sol son algunos de los organismos que encuentran alimento y protección en los lechos vegetales. En los carrizales y otras plantas emergentes anidan y se alimentan especies como los mirlos, los chochines de pantano, las ratas almizcleras, y los topillos de agua.

En las aguas abiertas, el plancton vegetal y las algas verdes filamentosas aportan la mayor parte de la energía usada por los ecosistemas lénticos. En esta capa rica en alimentos, el zooplancton (rotíferos, copépodos y cladóceros) se

alimenta del plancton vegetal. Esta zona también está ocupada por distintas especies de peces.

En la zona de aguas profundas, la vida se ve afectada por la temperatura y la cantidad de Oxígeno disuelto. En los lagos fríos donde el Oxígeno es suficiente, las truchas y el plancton pueden habitar en las profundidades. Sin embargo, en la zona profunda el barro y el agua adyacentes carecen a menudo de Oxígeno debido a la descomposición de la materia orgánica. Las comunidades que habitan en el fondo pueden incluir efímeras cavadoras, larvas de quironómido y protozoos, que se alimentan de la materia orgánica y son capaces de vivir con poco Oxígeno y poca luz. ²

2.2 HÁBITATS LÓTICOS

Los hábitats de las corrientes de agua o lóticos, incluyen todas las partes del curso de los ríos: los arroyos y manantiales de su cabecera, la zona central del valle, con sus remansos y sus rápidos, la zona de la llanura aluvial, y los estuarios en los que vierten sus aguas al mar.

Los arroyos de corriente rápida y los tramos altos de los ríos presentan una serie de características que obligan a ciertas adaptaciones por parte de los organismos que allí habitan que les permiten mantener su posición en el agua y no ser arrastrados por la corriente. Algunas especies, como la trucha común y ciertas ninfas de efímeras, tienen formas hidrodinámicas (fusiformes), lo que reduce su resistencia a la corriente. Otros organismos, como ciertas ninfas de

² <http://www.people.virginia.edu>

efímera y de plecóptero, tienen cuerpos aplanados, lo que les permite esconderse bajo las piedras y aferrarse a ellas. Hay otros, como las larvas de la mosca negra, que se fijan a las rocas por medio de garfios; además, estas larvas aumentan su fijación al sustrato mediante hilos de seda. La incorporación de ventosas está extendida en muchos de estos organismos; son típicas las ventosas de las sanguijuelas. Los gasterópodos también utilizan el pie del cuerpo a modo de ventosa para fijarse a las rocas; es el caso de los representantes del género *Ancylus*, con forma de lapa, característicos de las zonas de corriente. Otros organismos presentan prolongaciones con rebordes laterales para obtener una mayor superficie de contacto con el sustrato; las efímeras del género *Rithrogena* disponen de branquias muy amplias que tienen esa función. Otra adaptación morfológica para resistir la velocidad del agua es la que presentan ciertas larvas de Tricópteras que se construyen canutillos con pequeños guijarros, los cuales anclan sobre las rocas mediante secreciones de seda. En general, las comunidades de agua dulce son capaces de sobrevivir en estos medios acuáticos lóticos gracias a la selección del hábitat en el que viven; es decir, buscando las zonas de menor corriente, de remansos, bajo piedras, o refugiándose en túneles que construyen bajo el sustrato. Entre las plantas, las variedades representativas de los tramos de cabecera incluyen el musgo de agua, que se aferra a las rocas y se alinea con la corriente. Algunas algas crecen adheridas a las rocas y están cubiertas con una capa gelatinosa para reducir la fricción del agua.

De la misma manera donde se ensancha el cauce, las aguas de los márgenes fluyen más despacio, entonces los organismos son reemplazados por otros, como las percas, los barbos y los insectos acuáticos nadadores, adaptados a corrientes más lentas y a temperaturas más altas. Puede desarrollarse plancton vegetal y aparecer plantas acuáticas con raíz a lo largo de las riberas.

La mayor parte de las corrientes de agua dependen de los ecosistemas terrestres adyacentes como fuente primaria de energía. Las hojas y la madera de la vegetación de las orillas, una vez que sufren descomposición por parte de bacterias y hongos, pueden ser consumidas por los insectos. Los invertebrados acuáticos que se alimentan de las algas que recubren el fondo reciben el nombre de raspadores. Los desmenuzadores se alimentan de partículas gruesas de materia orgánica, mientras que el grupo trófico de los colectores se alimenta de las partículas finas. Los colectores pueden ser recolectores, si toman estas partículas de las zonas donde se van acumulando, o filtradores, si filtran el agua para retener las partículas finas que lleva en suspensión. Los tricópteros del género *Hydropsyche* construyen con seda unas redes de captura con las que filtran las partículas de materia orgánica. De todos estos invertebrados se alimentan los peces y los insectos depredadores.

2.2.1 Los macroinvertebrados. Los macroinvertebrados son organismos que no tienen espina dorsal y que son visibles sin usar un microscopio; son todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud, por eso, organismos como protozoos gastrotróicos y rotíferos no se tienen en cuenta.

Los macroinvertebrados son razonablemente sedentarios, su vida es larga en comparación con la de otros organismos, de modo que sirven para estudiar cambios durante largos periodos. El grupo es tan heterogéneo que una sola técnica de muestreo recoge muchas especies distintas, así que es posible que algunos de ellos responden a un determinado cambio de las condiciones ambientales. Además los macroinvertebrados son, por lo general muy abundantes.

La macrofauna béntica (invertebrados acuáticos) que se encuentra en agua dulce pertenece a las siguientes familias: Leptoceridae, Limnephilidae,

Sericostomatidae, Dryopidae, Eliminthidae, Haliplidae, Hydraendae, Coenagriidae, Hydrobiidae, Planirbidae, Unionidae, Valvatidae entre otras.

Los principales grupos de macroinvertebrados presentes en ríos, lagunas y quebradas de Antioquia corresponden a los siguientes filos (*Phylum*): Coelenterata, Platyhelminthes, Nematomorpha, Annelida, Arthropoda y Mollusca.

En la mayoría de los riachuelos, la energía disponible para los organismos se almacena en las plantas y se coloca a disposición de la vida animal en forma de hojas y algas que comen los macroinvertebrados. A su vez, los macroinvertebrados son una fuente de energía (alimento) para los animales más grandes tales como peces, que son una fuente de energía (alimento) para los pájaros y otros animales acuáticos de diferente orden.

Un ecosistema saludable es soporte para una diversidad de organismos, así que en un riachuelo saludable, la comunidad del fondo del riachuelo incluirá una variedad inmensa de macroinvertebrados vulnerables a la contaminación. Por el contrario, un riachuelo no saludable dará soporte solamente a unos cuantos tipos no vulnerables de macroinvertebrados.

El muestreo de los macroinvertebrados se une al muestreo de la calidad química del agua, la razón es bastante simple, el proceso de identificar la contaminación de los riachuelos usando solo el análisis del agua solo proporciona información limitada con respecto al momento del muestreo. Aun la presencia de peces puede no brindar información sobre un problema de contaminación, porque los peces se pueden alejar para evitar el agua contaminada y luego regresan cuando las condiciones mejoran. Sin embargo, las mayorías de los macroinvertebrados del fondo del riachuelo no pueden mudarse para evitar la contaminación. Por lo tanto, una muestra de macroinvertebrados puede servir como indicador de la calidad del

agua al brindar más información sobre la contaminación o la calidad del agua que no se encuentra al momento de tomar la muestra.

3. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA

3.1 INDICES FISICOQUÍMICOS

Debido a la cantidad de parámetros que participan en el diagnóstico de la calidad del agua y a lo complejo que éste puede llegar a ser, se han diseñado índices para sintetizar la información proporcionada por esos parámetros. Los índices tienen el valor de permitir la comparación de la calidad en diferentes lugares y momentos, y de facilitar la valoración de los vertidos contaminantes y de los procesos de autodepuración. Los primeros índices de calidad se aplicaron en los Estados Unidos en 1972. Constan de los valores de diferentes parámetros preseleccionados a los que se aplica un “peso” o importancia relativa en el total del índice. Para su cálculo se seleccionaron, en el caso de los Estados Unidos, el Oxígeno disuelto, los Coliformes fecales, el pH, la DBO, los Nitratos, los Fosfatos, el incremento de temperatura, la turbiedad y los sólidos totales. En España se diseñó el índice de calidad con el Oxígeno disuelto, los Coliformes, el pH, el consumo de Permanganato de Potasio, el Amonio, los Cloruros, el incremento de temperatura, la conductividad y los detergentes.

3.2 INDICES BIOTICOS

Se pueden emplear bioindicadores para evaluar la calidad que mantiene el agua en periodos más o menos largos: en este sentido, los propios peces indican las condiciones existentes pero, para análisis más selectos, se pueden emplear los macroinvertebrados del agua, muy diferentes en sensibilidad a las condiciones del agua dependiendo de las especies.

3.2.1 Índice de Monitoreo Biológico (B. M. W. P.). En el año de 1981 en el documento National Water Council se ordenaron las familias de macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia le hicieron corresponder una puntuación que varía de uno(1) a diez (10).

En 1985 Alba Tercedor y Jiménez Millán incorporaron las familias de macroinvertebrados comunes en la Península Ibérica y que no se encontraban en dicho índice asignándoles una puntuación. De esta manera se obtuvo el Biological Monitoring Working Party (BMWP) y que resulta ser una adaptación del índice de Hellawell. En 1988 los anteriores investigadores después de hacer estudios comparativos entre el BMWP con distintos índices de diversidad Biológicos observaron que oscilaba de forma muy similar y que existía una correlación entre ellos.

En 1992 Rico y Col comprueban igualmente que existe una gran correlación lineal entre el índice Biológico de Chandler y el BMWP, siendo este último capaz de detectar pequeñas variaciones en la calidad del agua.

Dado que éste índice sólo necesita de una identificación de los organismos a nivel de familia para el seguimiento de la contaminación de los ríos se perfila como un nuevo índice práctico, de fácil aplicación y fiable. Por lo tanto es una magnífica herramienta para el seguimiento y gestión de cuencas y micro cuencas por personal técnico, con un importante ahorro económico y de tiempo porque permite evaluar las situaciones de las aguas *en situ*.

Tabla 1. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP

FAMILIAS	PUNTUACIÓN
Perlidae, Oligoneuriidae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Lampiridae, Odontoceridae, Blepharoceridae, Psephenidae, Hidridae, Chordodidae, Lymnessiidae, "hidracáridos", Polythoridae, Gomphidae,	10
Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Leptoceridae, Xiphocentronidae, Dytiscidae, Polycentropodidae, Hydrobiosidae, Gyrinidae,	9
Veliidae, Gerridae, Philopotamidae, Simulidae, Pleidae, Trichodactylidae, Saldidae, Lestidae, Pseudothelphusidae, Hebridae, Hydrobiidae,	8
Baetidae, Calopterygidae, Glossossomatidae, Corixidae, Notonectidae, Leptohyphidae, Dixidae, Hyalellidae, Naucoridae, Scirtidae, Dryopidae, Psychodidae, Coenagrionidae, Planariidae, Hydroptilidae, Caenidae,	7
Ancylidae, Lutrochidae, Aeshnidae, Libellulidae, Elmidae, Staphylinidae, Limnychidae, Neriidae, Pilidae, Megapodagrionidae, Corydalidae	6
Hydropsychidae, Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Pleuroceridae, Tabanidae, Thiaridae, Pyralidae, Planorbidae	5
Chrysomelidae, Mesovelidae, Stratiomidae, Empididae, Dolicipodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae	4
Hirudinea (Glossiphoniidae, Cyclobdellidae), Physidae, Hydrometridae, Hydrophilidae, Tipulidae, Ceratopogonidae	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae	2
Oligochaeta (Tubificidae)	1

Fuente: Roldan G, 2004, Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, uso del método BMWP/Col, Universidad de Antioquia Medellín Colombia

3.2.2 Calculo del índice BMWP e interpretación de resultados. Para el cálculo del BMWP se busca la puntuación asignada que cada familia tiene en la tabla anterior y se obtiene el valor de este índice por la suma total de la puntuación correspondiente a cada una de ellas.

La interpretación de los resultados de la calidad biológica del agua se hace por comparación con la tabla 2, donde se representan las clases de aguas de los ríos y la calidad correspondiente de acuerdo con los resultados obtenidos de la suma total de puntos. La calificación va desde “buena (mayor de 150) a muy crítica (menor de 15), fijándole colores diferentes para cada calidad del agua, lo que permite representar en un mapa los tramos de la red fluvial de una zona e identificar la calidad en cada uno de ellos por estos colores.

Tabla 2. Clases de calidad de agua

CLASE	CALIDAD	VALOR	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	Mayor de 150 Entre 101-120	aguas muy limpias aguas no contaminadas	Azul
II	Aceptable	61 – 100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
III	Dudosa	36 – 60	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16 – 35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	Menor de 15	aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldan G, Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, uso del método BMWP/Colombia, Universidad de Antioquia Medellín Colombia, pág 28

3.2.3 Ventajas de los índices bióticos. Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de los mismos. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos “sensibles” que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como “intolerantes”, mientras otros que son tolerantes no se ven afectados.

Si la alteración llega a un nivel letal es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del mismo modo, así cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos abandonan la zona alterada, con la cual dejan espacio libre que puede ser colonizado por organismos tolerantes. De modo que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación.

Las técnicas que utilizan macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua han demostrado su total eficacia en la detección de puntos de alteración y en la configuración y el cartografiado de la calidad de las aguas.

A continuación se especifican las ventajas que se deben tener en cuenta en el uso de macroinvertebrados benthicos para la monitorización de la calidad del agua:

- Gran número de especies ofrecen un espectro de respuestas a las perturbaciones.
- La naturaleza sedentaria de muchas especies permite el análisis espacial de los efectos de las alteraciones.
- La taxonomía de muchos grupos es bien conocida y las claves de identificación asequibles.
- Su largo ciclo biológico permite examinar temporalmente los efectos de alteraciones regulares o intermitentes concentraciones variables.
- El muestreo cualitativo y el análisis están bien desarrollados y pueden hacerse utilizando material simple y barato.
- Numerosos métodos de análisis de datos han sido desarrollados para las comunidades de macroinvertebrados.
- Se han establecido las respuestas a distintos tipos de contaminación de muchas especies comunes.
- Los macroinvertebrados se adaptan bien a los estudios experimentales de las alteraciones.

- Se están desarrollando medidas bioquímicas y fisiológicas de la respuesta de organismos individuales a las alteraciones.

Así como existen ventajas también existen dificultades en el monitoreo biológico para establecer la calidad del agua. Las dificultades más frecuentes son:

- El muestreo cuantitativo requiere un gran número de muestras, que pueden ser muy costosas
- Además de la calidad del agua, hay otros factores que pueden afectar a la distribución y abundancia de los organismos.
- La variación estacional puede complicar las interpretaciones o comparaciones.
- La tendencia de algunos macroinvertebrados a dejarse llevar por la corriente, puede anular las ventajas ganadas gracias a la naturaleza sedentaria de muchas especies.
- Ciertos grupos no son muy conocidos taxonómicamente.
- Los macroinvertebrados bénticos no son sensibles a algunas alteraciones, así como los patógenos humanos y a cantidades traza de algunos contaminantes.

3.2.4 Premisas para la evaluación de la calidad biológica del agua. En 1990 Antoni Palau publicó una serie de premisas sobre la elección del macrobentos como elemento de juicio para la evaluación de la calidad biológica del agua:

- Excesiva relación entre las comunidades vegetales y las características fisicoquímicas del agua.
- Baja diversidad (variedad) de la fauna piscícola fluvial.
- La fauna piscícola, para su alimentación, depende en gran medida del macrobentos.
- Capacidad de desplazamiento del macrobentos.
- Numerosas especies del macrobentos son sensibles y de reacción rápida frente a alteraciones.

- Muchas especies del macrobentos presentan un ciclo vital relativamente largo, pero si las condiciones ambientales son modificadas, su desaparición es imputable con seguridad al motivo de alteración.
- Al vivir en el sustrato, el macrobentos tiene un marcado carácter espacial y refleja tanto las alteraciones de calidad del agua como del propio sustrato.

Por otro lado, los índices bióticos (o biológicos en un sentido amplio) registran las alteraciones del medio desde dentro del propio sistema, mientras que los índices fisicoquímicos lo hacen exteriormente y en concreto, en base a los usos que el hombre requiere del agua. La estima biológica de la calidad del agua parte del supuesto de que los efectos de la alteración pueden ser deducidos de las características biológicas, prescindiendo del conocimiento "a priori" de la causa perturbadora (Warren 1971, cita en Palau) .³

³ http://www.geocities.com/juana_diez/BMWP.html

4. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA

4.1 PARAMETROS FISICOS DEL AGUA

4.1.1 Turbiedad o turbidez. La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua.

La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, entre otros.

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

4.1.2 Color. Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, entre otros, en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. Cuando el agua natural tiene color existen partículas coloidales

cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ión metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} .

La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción, cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objetivo esencial del tratamiento. Normalmente el color aumenta con el incremento del pH.

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida, y el color aparente que incluye no solamente el color de la sustancia en solución y coloides sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa.

4.1.3 Conductividad. La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

La experiencia indica que el producto del valor de la conductividad en microohmios/cm, por un factor que oscila entre 0.55 y 0.7 es igual al contenido de sólidos disueltos, en mg/L; dicho factor depende de los iones en solución en el agua y de la temperatura, en general es alto, mayor de 0.7, en aguas salinas o de

calderas y bajo, menor de 0.55, en aguas con alcalinidad cáustica o acidez mineral.

4.1.4 Sólidos.

* **Sólidos filtrables.** Constituyen las sustancias coloidales y disueltas contenidas en el agua y que no quedan atrapadas en el filtro. Los sólidos filtrables son también llamados genéricamente *sólidos disueltos*: se trata de una denominación técnicamente incorrecta, porque además de las sustancias disueltas, entre los sólidos filtrables están comprendidos las sustancias coloidales muy diminutas que alcanzan a pasar a través de la porosidad del filtro. De los sólidos filtrables presentes en las aguas residuales de origen doméstico, cerca del 90% están en solución y el 10% en suspensión coloidal.

* **Sólidos suspendidos.** Indican las sustancias presentes en el agua bajo forma de partículas suspendidas y coloidales; en la práctica son las sustancias visibles no filtrables, es decir, que en prueba de laboratorio quedan atrapadas en un filtro (membrana), el cual está en capacidad de retener las partes más gruesas suspendidas y algo de las coloidales, así como los microorganismos de ciertas dimensiones (la porosidad del filtro en general es de $0.45 \mu m$).

Los sólidos suspendidos son la causa de la turbidez del agua, también llamada *contaminación visible*; ellos también son constituyentes de los lodos deshidratados, por cuanto son los sólidos suspendidos los que son atrapados por los procesos de filtración natural o mecánica y que son tenidos en cuenta para la deshidratación de los lodos. En los lixiviados de los lodos se encuentran los sólidos disueltos y coloidales presentes originalmente en el lodo no deshidratado.

* **Sólidos suspendidos sedimentables.** Representan la fracción de los sólidos suspendidos, que en tiempo suficientemente breve (por norma convencionalmente 2 horas), pueden recogerse sobre el fondo de un contenedor. Los sólidos suspendidos, en términos de concentración, pueden expresarse como porcentaje en volumen, en mililitro por litro (ml / L). La medida de los sólidos sedimentables se efectúa con los conos Imhoff. Los conos Imhoff son recipientes cuya particular conformación cónica nos permite evidenciar con elevada precisión el volumen de los sólidos suspendidos sedimentables.

* **Sólidos suspendidos no sedimentables.** Representan aquella fracción de los sólidos suspendidos que, en tiempos suficientemente breves, no pueden ser recogidos por efecto de la gravedad sobre el fondo del recipiente. Están constituidos esencialmente por sólidos suspendidos de dimensiones muy reducidas, de naturaleza coloidal, de manera que la velocidad de sedimentación resulta muy limitada (por efecto sobretodo de la mutua repulsión de las simples partículas, debida a las cargas eléctricas de igual signo, de la cual están dotadas) para las exigencias prácticas.

* **Sólidos suspendidos volátiles (SSV).** Constituyen la fracción de las sustancias en suspensión (sólidos suspendidos) los cuales son oxidados a la temperatura de 550°C; representan, aproximadamente, la porción de las sustancias orgánicas presentes en los sólidos suspendidos.

* **Sólidos totales.** Son dados por la suma de los sólidos suspendidos y los sólidos filtrables; representan, en la práctica, la totalidad de las diferentes sustancias presentes en la mezcla líquida, y que permanecen en el recipiente después que toda el agua se ha evaporado.

4.1.5 Temperatura. Se trata de un parámetro importante para los procesos de depuración de las aguas. De hecho, una variación de la temperatura induce a una

variación de la densidad y de la viscosidad del agua, influyendo sobre el comportamiento, y por ende en el dimensionamiento de los *procesos físicos* de sedimentación, de mezclado rápido, de filtración, entre otros. Además, la temperatura influye sensiblemente sobre los *procesos biológicos*, por cuanto todas las reacciones biológicas dentro de ciertos límites máximos de temperatura, serán aeróbicas o anaeróbicas, o aceleradas por un aumento de temperatura.

4.2 PARAMETROS QUIMICOS DEL AGUA

4.2.1 Alcalinidad. La alcalinidad de un agua puede definirse como: capacidad para neutralizar ácidos, capacidad para reaccionar con iones Hidrógeno, capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH^-). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad buffer de un agua.

En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: Bicarbonatos, Carbonatos e Hidróxidos.

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (Boratos, Silicatos, Fosfatos, entre otros) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de éstos es insignificante y puede ignorarse.

El método clásico para el cálculo de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad consiste en la observación de las curvas de titulación para estos compuestos, suponiendo que alcalinidades por Hidróxidos y Carbonatos no pueden coexistir en la misma muestra.

Del análisis de las curvas de titulación, obtenidas experimentalmente, se puede observar lo siguiente:

- La concentración de iones OH^- libres se neutraliza cuando ocurre el cambio brusco de pH a un valor mayor de 8.3.
- La mitad de los carbonatos se neutraliza a pH 8.3 y la totalidad a pH 4.5
- Los bicarbonatos son neutralizados a pH 4.5

Con base en las siguientes ecuaciones:

$$F = \text{OH}^- + (1/2)\text{CO}_3^{=}$$

$$M = \text{OH}^- + \text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^{=}$$

Donde F es el volumen de reactivo necesario para hacer virar la fenolftaleína de rosado a incoloro, pH 8.3 y M el volumen de reactivo necesario para hacer virar el metil naranja de amarillo a naranja, pH 4.5

Por lo tanto se puede deducir las ecuaciones para las cinco condiciones posibles de alcalinidad las cuales pueden observarse en la tabla 3

Tabla 3. Condiciones de alcalinidad.

CASO	RELACION	CONDICION	VALORES DE ALCALINIDAD			
			OH^-	$\text{CO}_3^{=}$	$\text{HCO}_3^{=}$	TOTAL
1	F=M	OH^-	F=M	0	0	M
2	F>M/2	OH^- Y $\text{CO}_3^{=}$	2F-M	2(M-F)	0	M
3	F=M/2	$\text{CO}_3^{=}$	0	2F=M	0	M
4	F<M/2	$\text{CO}_3^{=}$ Y $\text{HCO}_3^{=}$	0	2F	M-2F	M
5	F=0	$\text{HCO}_3^{=}$	0	0	M	M

Fuente: GARCIA DE AYA, Rosa. Análisis Químico y Bacteriológicos en el Control de Agua. Bucaramanga; UIS . 1983.P.15.

4.2.2 Dureza. Como aguas duras se consideran aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua.

En términos de dureza las aguas pueden clasificarse así:

Tabla 4. Clasificación de la dureza.

RANGO (mg/L)	CLASIFICACIÓN
0-75	Blanda
75-150	Moderadamente dura
150-300	Dura
>300	Muy dura

Fuente: GARCIA DE AYA, Rosa. Análisis Químico y Bacteriológicos en el Control de Agua. Bucaramanga; UIS. 1983.P.15.

Se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

La dureza se expresa en mg/L como CaCO₃. El valor de la dureza determina, la conveniencia del agua para uso doméstico o industrial y la necesidad de un proceso de ablandamientos. El tipo de ablandamiento por usar y su control dependen de la adecuada determinación de la magnitud y clase de dureza.

* **Clases de dureza**

* **Dureza total:** es aproximadamente igual a la dureza producida por los iones calcio y magnesio, es decir:

$$\text{Dureza total} = \text{dureza por Ca} + \text{dureza por Mg}$$

* **Dureza Carbonácea:** en aguas naturales los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad, por lo tanto, la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como dureza Carbonácea. Es decir:

$$\text{Alcalinidad (mg/L)} = \text{dureza Carbonácea (mg/L)}$$

Dos casos pueden presentarse:

a) cuando la alcalinidad es menor que la dureza total; entonces,

$$\text{Dureza Carbonácea (mg/L)} = \text{alcalinidad (mg/L)}$$

b) cuando la alcalinidad es mayor o igual a la dureza total; entonces,

$$\text{Dureza Carbonácea (mg/L)} = \text{dureza total (mg/L)}$$

* **Dureza no Carbonácea:** se considera como no Carbonácea toda dureza que no esté químicamente relacionada con los bicarbonatos. Es decir:

$$\text{Dureza no Carbonácea (mg/L)} = \text{Dureza total} - \text{Alcalinidad.}$$

La Dureza no Carbonácea incluye principalmente Sulfatos, Cloruros y Nitratos de Calcio y Magnesio.

4.2.3 Cloruros. El ión Cloruro es una de las especies de Cloro de importancia en aguas. Los Cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruro es muy alto, en promedio de 19000mg/L, constituyen el anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los Bicarbonatos y Sulfatos.

Los Cloruros logran acceso a las aguas naturales en muchas formas: el poder disolvente del agua introduce Cloruros de la capa vegetal y de las formaciones más profundas; las aguas de mar son más densas y fluyen aguas arriba a través del agua dulce de los ríos que fluyen aguas abajo, ocasionado una mezcla constante de agua salada con agua dulce.

Muchos residuos industriales contienen cantidades apreciables de Cloruros. Los Cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. En concentraciones por encima de 250mg/L producen un sabor salado en el agua, el cual es rechazado por el consumidor; para consumo humano el contenido de Cloruros se limita a 250mg/L. Sin embargo, hay áreas donde se consumen aguas con 2000mg/L de Cloruros, sin efectos adversos, gracias a la adaptación del organismo.

4.2.4 Fosfatos. Los compuestos de Fósforo son componentes característicos de los organismos vivos y son liberados por la descomposición de las células, de manera que los residuos humanos, animales y las aguas residuales procedentes de industrias que procesan materiales biológicos, como la industria alimenticia, constituye la fuente principal de los compuestos de Fósforo. La mayoría de los detergentes contienen Fosfatos (compuestos químicos que contienen Fósforo). Los Fosfatos son empleados por los fabricantes para ablandar el agua y evitar que las partículas de mugre vuelvan a depositarse en la ropa.

Existen detergentes en polvo que se fabrican con fórmulas distintas que no los contienen. La gran cantidad de Fosfatos vertida en ríos y lagos, formando parte de los detergentes y jabones, provocan la presencia desbordada de algas. Los Fosfatos abonan las aguas de tal manera que las algas crecen sin control. Al morir las algas, las bacterias proceden a descomponerlas y, durante este proceso, consumen cantidades enormes del Oxígeno disuelto en el agua. Los peces y, en general, toda la vida acuática, necesitan de ese Oxígeno para vivir. Resultado: **contaminación y muerte**. En los envases de detergentes, aparece la cantidad de Fósforo "en forma de Fosfatos" que ellos contienen, pero ese NO es el contenido real de Fosfatos. Para calcular la cantidad real se debe multiplicar el porcentaje de Fósforo por tres. Es decir: si en el envase dice un 8% de Fósforo, eso equivale

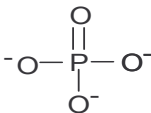
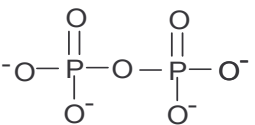
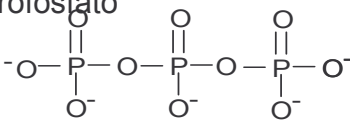
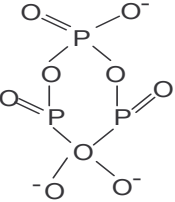
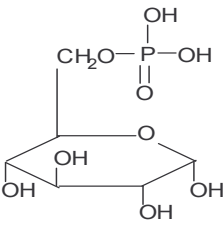
a un 24% de Fosfatos. Algunos detergentes y jabones necesitan hasta 150 años para biodegradarse.⁴

Otras fuentes de aguas residuales que contengan Fósforo, a parte de las industrias biológicas, son las operaciones donde se fabrican Fosfatos y ácido Fosfórico, muy especialmente la industria de los fertilizante, la industria de acabados de los metales, además, los compuestos de Fósforo tienen mucho uso en general para la inhibición de las incrustaciones en las calderas, intercambiadores de calor y circuitos de enfriamiento y como un inhibidor de la corrosión en general.

Los compuestos de Fósforo que se encuentran en las aguas residuales son de tres tipos principalmente; Ortofosfatos, Polifosfatos y compuestos de Fósforo orgánico. (ver tabla 5)

⁴ VERNON, L.Snoeyink. Water Chemistry. New York: John Wiley and Sons. Páginas .298-301.

Tabla 5. Clases de compuestos de fósforo de importancia en sistemas acuosos.

GRUPO	ESTRUCTURA TIPICA	ESPECIES DE IMPORTANCIA
Ortofosfato		H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , complejos HPO_4^{2-}
Poli fosfatos	 <p>Pirofosfato</p>	$H_4P_2O_7$, $H_3P_2O_7^-$, $H_2P_2O_7^{2-}$, $HP_2O_7^{3-}$, $P_2O_7^{4-}$, complejos $HP_2O_7^{3-}$
	 <p>Trípoli fosfato</p>	$H_3P_3O_{10}^{2-}$, $H_3P_3O_{10}^{3-}$, $HP_3O_{10}^{4-}$, $P_3O_{10}^{5-}$, complejos $HP_3O_{10}^{4-}$
Meta fosfato	 <p>Trimetafosfato</p>	$HP_3O_9^{2-}$, $P_3O_9^{3-}$
Fosfatos orgánicos	 <p>Glucosa 6-fosfato</p>	Muchos tipos, incluyendo fosfolípidos, azúcar-fosfatos, nucleótidos, fosfoamidas, entre otros.

Fuente: GARCIA DE AYA, Rosa. Análisis Químico y Bacteriológicos en el Control de Agua. Bucaramanga; UIS. Página.15.

Los Fosfatos hacen parte de los aniones fácilmente fijados por el suelo; su presencia en las aguas naturales depende de los terrenos atravesados por ellas y de la descomposición de la materia orgánica. Generalmente, el contenido no pasa de 1mg/l en forma de P_2O_5 .

El Fósforo juega un papel importante en el desarrollo de algas, favoreciendo su multiplicación en los depósitos, las grandes canalizaciones y las aguas de los lagos, donde ellos contribuyen a la eutroficación.

En general, en aguas naturales la concentración de Fósforo es baja, de 0.01 a 1 mg/L de P; en aguas residuales domésticas varía normalmente entre 1-15mg/L de P; en aguas de drenaje agrícola entre 0.05-1 mg/L de P y en aguas superficiales de lagos entre 0.01- 0.04mg/L de P.

4.2.5 Nitrógeno. La química del Nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia pueden ser efectuados por organismos vivos. Para añadir aun más interés, los cambios de valencia efectuados por las bacterias pueden ser positivos o negativos, según si las condiciones son aerobias o anaerobias.

Las formas de mayor interés, son: Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno de Nitritos, Nitrógeno de Nitratos, Nitrógeno orgánico

Las relaciones existentes entre las distintas formas de los compuestos de Nitrógeno son explicadas brevemente a continuación:

Durante las tormentas eléctricas, grandes cantidades de Nitrógeno atmosférico son oxidadas a Pentóxido de Nitrógeno, N_2O_5 , el cual se une con el agua para dar ácido nítrico, HNO_3 que es transportado por la lluvia a la tierra formando Nitratos.

Los Nitratos sirven para fertilizar las plantas y son convertidos en proteínas. El Nitrógeno atmosférico también es convertido en proteínas por las bacterias fijadoras del Nitrógeno y por ciertas algas.

Los animales y los humanos utilizan las proteínas para su subsistencia. Los compuestos del Nitrógeno no utilizados son arrojados en los excrementos; estos, y la materia remanente de animales muertos y plantas, son convertidas en Amoniacó por las bacterias. El Amoniacó producido por la acción bacteriana sobre la Urea y las proteínas puede ser usado directamente por las plantas. Si se produce un exceso de los requerimientos de las plantas, tal exceso es oxidado por las bacterias nitrificantes. Un grupo, conocido como las formadoras de nitrito, nitroso- bacterias, convierte Amoniacó en Nitritos bajo condiciones aeróbicas.

Un segundo grupo, las nitro – bacterias, oxida los Nitritos para formar Nitratos.

Los Nitratos formados sirven como fertilizantes par las plantas. El proceso se conoce con el nombre de Nitrificación y se usa como primera etapa en el tratamiento de aguas residuales que contienen Nitrógeno amoniacal, cuando se requiere remoción biológica de Nitrógeno.

En condiciones anaeróbicas, los Nitratos son reducidos a Nitritos y éstos a gas Nitrógeno por bacterias. El proceso se conoce como desnitrificación y se supone ocurre en dos pasos sucesivos: la reducción inicial de los Nitratos en Nitritos y la de éstos en Nitrógeno gaseoso.

De acuerdo con el ciclo del Nitrógeno, una concentración alta de Nitrógeno orgánico es característica de una polución fresca o reciente. El Amoniacó es el producto inicial en la descomposición del Nitrógeno orgánico. A medida que transcurre el tiempo, en condiciones aeróbicas, el Nitrógeno Amoniacal es oxidado

en Nitritos y éstos en Nitratos, los cuales son el producto final de la descomposición del Nitrógeno orgánico.

4.2.6 Nitritos. El Nitrógeno de Nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1mg/L, aun en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración es generalmente menor de 0.1mg/L. su presencia es generalmente indicativa de procesos activos biológicos en el agua ya que es fácil y rápidamente convertido en Nitratos.

4.2.7 Nitratos. La presencia de Nitratos no es extraña, especialmente en aguas de aljibes en comunidades rurales. En el año de 1945 Comly reportó por primera vez la asociación de una circunstancia anormal en la sangre de niños, llamada meta hemoglobina, con la ingestión de aguas con un contenido mayor de 10 mg/l de Nitratos (como NO_3^-).

Aunque la toxicidad relativa de los Nitratos es bien conocida un nivel para conocer una dosis nociva es difícil de establecer; cuando se presentan en la forma de Nitritos éstos tienen mayor efecto que los Nitratos, pero como generalmente en las aguas naturales no exceden de 1 mg/l y la oxidación con Cloro los convierte en Nitratos, el problema queda prácticamente solucionado.

4.2.8 Sulfatos. Aunque por regla general las aguas naturales no contienen cantidades altas de Sulfatos, cuando éstos están presentes en cantidades apreciables pueden tener efectos sobre el sabor y actuar como laxantes, especialmente en los consumidores que no están habituados a agua de estas condiciones.

La concentración en ión Sulfato de las aguas naturales es muy variable. En los terrenos que no contienen una proporción importante de Sulfatos minerales, puede

alcanzar de 30 a 50 mg/L, pero esta cifra puede ser ampliamente sobrepasada (hasta 300mg/L) en las zonas que contienen yeso o cuando el tiempo de contacto con la roca es elevado. En ciertas regiones que contienen Sulfuros metálicos (hierro, níquel, cobre entre otros) los Sulfatos pueden tener por origen la oxidación de estos últimos. El contenido de Sulfatos en las aguas está relacionado a los elementos alcalinos y alcalinotérreos de la mineralización

4.2.9 Oxígeno disuelto. La solubilidad del Oxígeno en el agua se debe a varios factores, en particular: temperatura, presión atmosférica y salinidad. El Oxígeno disuelto está en función del origen del agua; las aguas superficiales pueden contener cantidades relativamente importantes próximas a la saturación. Las aguas profundas no contienen frecuentemente más que algunos mg/L. Las variaciones del contenido de Oxígeno son muy importantes, puede ser función de la presencia de vegetales, materias orgánicas oxidables, organismos y gérmenes aerobios, así como de la perturbación de los cambios atmosféricos en la interfaz (presencia de grasas, de hidrocarburos, de detergentes entre otros).

En los medios de pequeño porcentaje de renovación (lagos, embalses, bahías) el contenido de Oxígeno disuelto tiene tendencia a disminuir con la profundidad, y los fenómenos anaerobios pueden desarrollarse en los fondos. Cuando la temperatura se eleva, el contenido de Oxígeno disminuye en razón de su pequeña solubilidad, pero también a causa del consumo aumentados por los seres vivos y bacterias que se multiplican. Estas modificaciones pueden ocasionar gustos y olores desagradables.

4.3. DECRETO 1594/84.

A continuación se muestran los criterios de calidad admisibles para la destinación del agua para consumo humano y domestico e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional o únicamente desinfección.

Tabla 6. Criterios de calidad admisibles para uso del agua para consumo humano y domestico.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	VALOR ADMISIBLE Desinfección mg/L	VALOR ADMISIBLE Tratamiento mg/L
Amoniaco	N	1.0	1.0
Arsénico	As	0.05	0.05
Bario	Ba	1.0	1.0
Cadmio	Cd	0.01	0.01
Cianuro	CN ⁻	0.2	0.2
Cinc	Zn	15.0	15.0
Cloruros	Cl ⁻	250.0	250.0
Cobre	Cu	1.0	1.0
Color	Color real	20 unidades UPC	75 unidades UPC
comp. Fenólicos	Fenol	0.002	0.002
Cromo	Cr	0.05	0.05
Difenil-Policlorados	Concentración de Agente activo	No detectable	No detectable
Mercurio	Hg	0.002	0.002
Nitratos	N	10.0	10.0
Nitritos	N	10.0	10.0
p.H	Unidades	6.5 – 8.5	5.0 – 9.0
Plata	Ag	0.05	0.05
Plomo	Pb	0.05	0.05
Selenio	Se	0.01	0.01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	400.0	400.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5	0.5
Turbiedad	NTU	10	-
Coliformes totales	NMP	1000 microorganismos/1000mL	20000 microorganismos/100 MI
Coliformes fecales	NMP	-	2000 microorganismos/100 mL

Fuente: Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud

Además no se acepta película visible de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, provenientes de actividad humana, radioisótopos y otros no removibles por desinfección, que puedan afectar la salud humana.

4.4 DECRETO 475 DE 1998.

Según el decreto 475 de 1988 los criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable son los siguientes (Artículo 7).

Tabla 7. Criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable.

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADO EN	VALOR ADMISIBLE
Color verdadero	Unidades de platino cobalto (UPC)	<15
Olor y sabor		Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT)	<5
Sólidos totales	mg/L	<500
Conductividad	Micromhs/cm	50-100
Sustancias flotantes		Ausentes
p.H	Unidades	6,5-9 (Artículo 9)

Fuente: Decreto 475 de 1998

5. TRABAJO EXPERIMENTAL

5.1 DESCRIPCION DEL ECOSISTEMA

El ecosistema natural denominado Estación Biológica Guaya canal se encuentra ubicado en el Municipio de Los Santos (Santander), vereda la Mesa. Está conformado por un sistema sucesional que se encuentra actualmente en diferentes fases de recuperación, desde pastizal hasta bosque bajo. Según Holdridge corresponde a la zona de vida denominada Bosque húmedo Premontano - BhPM (precipitación media anual 1200 mm/año, temperatura media anual 22 °C), localizado a 1670 metros sobre el nivel del mar, a una latitud Norte de 06°, 51', 33 ", longitud Oeste de 73°, 04', 30 " y se encuentra aproximadamente a 43 Kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, (Ver anexo 1).

Este pequeño ecosistema tiene un área de 6 Ha. El 60% de su área se encuentra sin intervención, un 20% parcialmente intervenido y el otro 20% totalmente intervenido debido a los procesos de recuperación de fauna, flora, suelo y agua.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA QUEBRADA

En la Estación Biológica Guaya canal nace una quebrada que se llama El Carracá, las aguas del nacimiento están conformadas así: un pequeño humedal, una microcuenca subterránea y una microcuenca seca (Se observa solamente matorrales, cuando llueve se forma un embalse.)

La quebrada El Carracá se une con otra pequeña quebrada formando la quebrada la Purnia y luego desemboca en el río Sogamoso. La quebrada suministra agua a la urbanización recreacional Acuarela y la parte sur de la vereda la Purnia, del

municipio de Los Santos; el agua se utiliza básicamente para consumo humano y para riego de cultivos.

5.3 PROCEDIMIENTO EN CAMPO

Se escogieron dos sitios de muestreo, uno en la parte alta de la quebrada El Carracá donde se origina el nacimiento del agua y otro 800 metros aguas abajo donde recibe un efluente para relacionar la variación en la calidad del agua tanto biológica como fisicoquímicamente

El muestreo se realizó de dos maneras; una jornada en época de sequía y otra en época de lluvias para identificar y verificar si las familias de macroinvertebrados son similares, así mismo comparar si los resultados de las pruebas fisicoquímicas son afines o se encuentran diferencias en los rangos permisibles por la normatividad para aguas de consumo humano y domestico.

5.3.1 Recolección de los macroinvertebrados. Se recolectaron macroinvertebrados en aguas de corrientes poco profundas. Se construyó un sustrato artificial (ver Figura 1) de la siguiente manera: se elaboró una canasta de alambre de 50 cm de longitud por 20 cm de diámetro, se lleno de rocas y se fijo en el fondo de la corriente donde se origina el nacimiento de la quebrada y se esperó por cuatro semanas para ver si se había colonizado por los organismos acuáticos, como no se encontró ninguno al cabo de estas cuatro semanas se volvió a colocar en el fondo de la corriente y se dejó durante cuatro meses y tampoco se encontraron macroinvertebrados en el sustrato artificial.

Figura 1. Sustrato artificial



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Con la ayuda de dos estudiantes del grado undécimo del colegio Mesa de Jeridas del municipio de Los Santos, también se recolectaron macroinvertebrados manualmente durante cinco meses, muestreando una vez por semana de la siguiente forma: con una red de mango de alambre se atraparon los organismos acuáticos en contra corriente del agua y se complementó tomando con las manos: rocas, arena lodo, hojas, pedazos de palos y con un pincel se van tomando los organismos uno por uno y se depositan en un frasco de 10ml con alcohol etílico al 90% y se añaden dos o tres gotas de glicerina para mantener blandas y flexibles las estructuras de los organismos (ver Figura 2).

Figura 2. Organismos recolectados en frascos



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Después de atrapados los macroinvertebrados se observan con lupa, microscopio, estereoscopio y se analizan según su morfología (forma y tamaño) las siguientes características: cabeza, antenas, número de patas, número de anillos, abdomen, labios, mandíbulas, agallas, uñas, entre otras.

Luego se compararon las diferentes características con el apoyo de guías taxonómicas y con base en los dos sitios muestreados, se determina la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por familias presentes en la parte alta de la quebrada El Carracá del municipio de Los Santos.

Posteriormente se le asigna el valor a cada macroinvertebrado según el índice BMWP para definir si el agua es limpia o es contaminada.

5.3.2 Muestreo de agua para análisis fisicoquímico y microbiológico. La toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas se realizó en la parte alta de la

quebrada y 800 metros aguas abajo en época de lluvia y en época de sequía de la siguiente manera:

- Se esterilizaron los frascos
- Se rotularon los envases
- Se purgaron los frascos con la muestra a analizar
- Se recolectaron las muestras en tres puntos diferentes de cada toma (puntuales)
- Se transportó en nevera de icopor con hielo
- Se mantuvo siempre refrigeradas hasta la hora del análisis
- Se enviaron al laboratorio de Servicios Integrados para la Industria de Alimentos y el Medio Ambiente SIAMA EAT

También se tomaron muestras de agua cruda en el río de Oro del municipio de Piedecuesta y en la quebrada La Honda del municipio de Los Santos en el sitio El Granero, para comprobar y verificar la calidad del agua de la quebrada El Carracá, según Decretos 1594/84 y 475/98. Además se tomo una muestra en la parte alta de la quebrada El Carracá para realizarle prueba de toxicidad.

Los parámetros a medidos fueron son los siguientes: pH, Color, Turbiedad, Conductividad, Sólidos totales, Sulfatos, Alcalinidad total, Dureza, Cloruros, Hierro, recuento de Mesófilos, Coliformes totales, Coliformes fecales que son los análisis más relevantes de los Decretos 1594/84 y 475/98.

5.4 ANALISIS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

A las muestras de la quebrada El Carracá, se les realizó análisis fisicoquímicos y microbiológicos en época de lluvia y en época de sequía y arrojaron los siguientes resultados:

5.4.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, AGUA CRUDA QUEBRADA EL CARRACÁ

Tabla 8. Muestra numero 1. Parte alta de la quebrada El Carracá en época de lluvias.

PÁRAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Desinfección Decreto 1594/84	VALOR ADMISIBLE Tratamiento Decreto 1594/84
p.H	Unidades de p.H	6,2	6,5-8,5	5,0 – 9,0
Color	Unidades UPC	102,0	20	75
Turbiedad	NTU	12,6	10	-
Sulfatos	mg/LSO ₄ ⁻²	5,64	400,0	400,0
Sólidos total	Mg/L	260,0	< 500.0*	< 500.0*
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	32,38	100	100
Dureza	mg CaCO ₃ /L	24,0	160	160
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	6,39	250,0	250,0
Hierro	Mg Fe/L	1,78	<0,3	<0,3
Mesófilos	UFC/100mL	4800		
Conductividad	μhs/cm a 20 °C	20,0	--	50 – 100
Coliformes totales	UFC/100mL	280	1000	20000
Coliformes fecales	UFC/100 mL	10	--	2000

Fuente: Análisis físicoquímicos y microbiológicos realizados por el autor

Tabla 9. Muestra numero 2. tomada a 800 metros aguas abajo del nacimiento de la quebrada El Carracá en época de lluvias.

PÁRAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Desinfección Decreto 1594/84	VALOR ADMISIBLE Tratamiento Decreto 1594/84
p.H	Unidades de pH	6,5	6,5 – 8,5	5,0 –9,0
Color	Unidades UPC	67,0	20	75
Turbiedad	NTU	14.5	10	-
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	8.16	400.0	400,0
Sólidos total	mg/L	73.5	< 500.0*	< 500,0*
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	35.00	100	100
Dureza	mg CaCO ₃ /L	18.08	160	160
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	17.35	250,0	250,0
Hierro	mg Fe/L	0,56	<0,3	<0,3
Conductividad	μhs/cm a 20 °C	17,8	--	50 - 100
Mesófilos	UFC/100mL	0		
Coliformes totales	UFC/100mL	2	1000	20000
Coliformes fecales	UFC/100mL	0	-	2000

Fuente: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el autor

Tabla 10. Muestra numero 3. Parte alta de la quebrada El Carracá en época de sequía.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Desinfección Decreto 1594/84	VALOR ADMISIBLE Tratamiento Decreto 1594/84
p.H	Unidades de pH	5,83	6,5 – 8,5	5,0 –9,0
Color	Unidades UPC		20	75
Turbiedad	NTU	9,3	10	-
Sulfatos	mg/LSO ₄ ⁻²	2,5	400,0	400,0
Sólidos total	mg/L		< 500,0*	< 500,0*
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	37,5	100	100
Dureza	mg CaCO ₃ /L	18,08	160	160
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	7,0	250,0	250,0
Hierro	mg Fe/L	0,5	<0,3	<0,3
Conductividad	μhs/cm a 20 °C	27,8		50 – 100
Mesófilos	UFC/100mL	6760		
Coliformes totales	UFC/100mL	5560	1000	20000
Coliformes fecales	UFC/100mL	150	-	2000

Fuente: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el autor

Tabla 11. Muestra número 4 tomada a 800 metros aguas abajo del nacimiento de la quebrada El Carracá en época de sequía.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Desinfección Decreto 1594/84	VALOR ADMISIBLE Tratamiento Decreto 1594/84
p.H	Unidades de pH	5,96	6.5 – 8.5	5.0 –9.0
Color	Unidades UPC		20	75
Turbiedad	NTU	3,4	10	-
Sulfatos	mg/L SO_4^{-2}	2,3	400,0	400,0
Sólidos total	mg/L		< 500,0*	< 500,0*
Alcalinidad total	mg CaCO_3 /L	39,0	100	100
Dureza	mg CaCO_3 /L	5,0	160	160
Cloruros	mg Cl^- /L	7,0	250,0	250,0
Hierro	mg Fe/L	0,6	<0,3	<0,3
Conductividad	$\mu\text{hs/cm}$ a 20 °C	21,1	-	50 – 100
Mesófilos	UFC/100mL	10140		
Coliformes totales	UFC/100mL	6760	1000	20000
Coliformes fecales	UFC/100mL	70	-	2000

Fuente: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el autor

Tabla 12. Muestra numero 5. Agua cruda quebrada La Honda en época de sequía.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Desinfección Decreto 1594/84	VALOR ADMISIBLE Tratamiento Decreto 1594/84
p.H	Unidades de pH	6,37	6,5 – 8,5	5,0 –9,0
Color	Unidades UPC		20	75
Turbiedad	NTU	7,0	10	-
Sulfatos	mg/LSO ₄ ⁻²	2,1	400,0	400,0
Sólidos total	mg/L		< 500,0*	< 500,0*
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L		100	100
Dureza	mg CaCO ₃ /L	12.5	160	160
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	14.0	250,0	250,0
Hierro	mg Fe/L	1.2	<0,3	<0,3
Conductividad	μhs/cm a 20 °C	157,5	-	50 – 100
Mesófilos	UFC/100mL	20280		
totales	UFC/100mL	16900	1000	20000
Coliformes fecales	UFC/100mL	4720	-	2000

Fuente: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el autor

5.4.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, agua cruda Río de Oro en Piedecuesta. En la a tabla 13 y en la tabla 14 se pueden observar los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados a dos muestras de agua cruda del río de Oro del municipio Piedecuesta que se

usa para potabilizar, por lo tanto se utiliza de referencia de un agua no contaminada empleada para potabilización.

Tabla 13. Muestra numero 6. Agua cruda río de Oro de Piedecuesta, época de sequía

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Desinfección Decreto 1594/84	VALOR ADMISIBLE Tratamiento Decreto 1594/84
p.H	Unidades de pH	7,98	6,5 – 8,5	5,0 –9,0
Color	Unidades UPC	26,0	20	75
Turbiedad	NTU	2,5	10	-
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	6,27	400,0	400,0
Sólidos total	mg/L	75,0	< 500,0*	< 500,0*
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	44,68	100	100
Dureza	mg CaCO ₃ /L	24,60	160	160
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	4,5	250,0	250,0
Hierro	mg Fe/L	0,10	<0,3	<0,3
Conductividad	μhs/cm a 20 °C	-	-	50 – 100
Mesófilos	UFC/100mL	-		
Coliformes totales	UFC/100mL	920	1000	20000
Coliformes fecales	UFC/100mL	150	-	2000

Fuente: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el autor

Tabla 14. Muestra numero 7. Agua cruda río de Oro de Piedecuesta, época de lluvias

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Desinfección Decreto 1594/84	VALOR ADMISIBLE Tratamiento Decreto 1594/84
p.H	Unidades de pH	7,70	6,5 – 8,5	5,0 –9,0
Color	Unidades UPC	1070	20	75
Turbiedad	NTU	390	10	-
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	16,60	400,0	400,0
Sólidos total	mg/L	178,33	< 500,0*	< 500,0*
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	26,24	100	100
Dureza	mg CaCO ₃ /L	22,90	160	160
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	5,2	250,0	250,0
Hierro	mg Fe/L	3,13	<0,3	<0,3
Conductividad	μhs/cm a 20 °C	-	-	50 – 100
Mesófilos	UFC/100mL	-		
Coliformes totales	UFC/100mL	150	1000	20000
Coliformes fecales	UFC/100mL	86	-	2000

Fuente: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el autor

Tabla 15. Resumen de resultados, pruebas fisicoquímicas y microbiológicas de calidad del agua

Prueba	Expresado Como	Época de lluvia parte alta Quebrada El Carracá	Época de lluvia 800 m abajo Quebrada El Carracá	Época de sequía parte alta Quebrada El Carracá	Época de sequía 800 m abajo Quebrada El Carracá	Época de sequía Quebrada La Honda	Época de sequía Río de Oro	Época de lluvia Río de Oro	Norma Admisible Tratamiento Decreto 1594/84	Norma Admisible Desinfección Decreto 1594/84
p.H	Unidades de Ph	6,2	6,5	5,83	5,96	6,37	7,98	7,70	6,5 – 8,5	5,0 –9,0
Color	Unidades UPC	102,0	67,0				26,0	1070	20	75
Turbiedad	NTU	12,6	14,5	9,3	3,4	7,0	2,5	390	10	-
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁻²	5,64	8,16	2,5	2,3	2,1	6,27	16,60	400,0	400,0
Sólidos total	mg/L	260	73,5	80,5	82,5	115	75,0	178,33	< 500,0*	< 500,0*
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	32,38	35,00	37,55	39,0	75,0	44,68	26,24	100	100
Dureza	mg CaCO ₃ /L	24	18,08	5,07	5,0	12,5	24,60	22,90	160	160
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	6,39	7,35	7,0	7,0	14,0	4,5	5,2	250,0	250,0
Hierro	mg Fe/L	1,78	0,56	0,5	0,6	1,2	0,10	3,13	<0,3	<0,3
Conductivi	µhs/cm a 20 °C	20	17,8	27,8	21,1	157,5			50 – 100	-
Mesófilos	UFC/100 MI	4800	0	6760	10140	20280				
Coliformes totales	UFC/100 mL	280	2	5560	6760	16900	920	150	1000	20000
Coliformes fecales	UFC/100 MI	10	0	150	70	4720	150	86	-	2000

5.5 ANÁLISIS DE MUESTRAS BIOLÓGICAS:

Se analizaron los macroinvertebrados encontrados según la familia a la que pertenecen y se determinó el índice BMWP; asignándole el puntaje a cada invertebrado bentónico, el cual se basa en comunidades para calificar la calidad del agua.

Tabla 16. Familias de macroinvertebrados encontrados en la quebrada El Carracá del municipio de Los Santos.

ORDEN	FAMILIA	PUNTOS
Ephemeroptera	Baetidae	7
Odonata	Coenagrionidae	7
Coleoptera	Gyrinidae	9
Trichoptera	Hidrottilidae	7
Trichoptera	Hidrosychidae	7
Odonata	Libellulidae	6
Basommatofhora	Lymanaeidae	4
Hemiptera	Naucoridae	7
Diptera	Simulidae	8
Diptera	Tipulidae	3
Oligochaeta (clase)	Tubificidae	1
TOTAL	11 FAMILIAS	66 PUNTOS

Fuente: Análisis biológicos realizados por el autor

5.6 ANALISIS DEL ENSAYO DE TOXICIDAD.

Se tomó una muestra de 500 mL agua en el pozo del nacimiento de la quebrada, para evaluar la contaminación acuática y establecer un criterio confiable sobre la

calidad del agua. A la muestra se le realizó un Bioensayo de toxicidad agregándole camarones de agua dulce del Genero Daphnia especie pulex para determinar las unidades toxicas.

Las unidades toxicas se determinan mediante la siguiente ecuación:

$$UT = 100/DL50.$$

Donde:

UT = Unidades Toxicas

DL50 = Dosis letal a 50% de exposición de un organismo en una sustancia

Tabla 17. Clasificación de la toxicidad

VALOR	SIGNIFICADO
1	No tóxico
1 – 1.3	Levemente tóxico
1.3 – 2	Moderadamente tóxico
2 – 4	Tóxico
> 4	Muy Tóxico

Fuente: Módulo Laboratorio de Bioensayos, Restrepo M. Ricardo, página. 40,

6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se explican los análisis fisicoquímico, microbiológicos, biológicos y de toxicidad relacionados con el capítulo anterior.

6.1 INTERPRETACIÓN, ANALISIS FISICOQUÍMICO

El contenido de hierro varía entre 0.5 y 0.7 mg/l. Este rango está por encima del permitido por el Decreto 1594 de 1984, y su presencia puede ser debida a la disolución de minerales de hierro presentes en el suelo (rojizo) del lecho de la quebrada. Es común en la práctica del tratamiento de agua, encontrar valores de hierro de 7 mg/L y el agua de la quebrada El Carracá el máximo valor arrojado fue de 1,78 mg/L en época de lluvias.

El agua presenta un pH medianamente bajo, posiblemente debido a la presencia de ácidos Húmicos que contiene el agua a la salida del nacimiento, razón por la cual no se puede clorar directamente, se debe someter a los procesos de coagulación, floculación, y cloración porque se corre el riesgo de formación de Trihalometanos.

Analizando el color del agua se puede concluir que necesariamente el agua requiere de tratamiento para remover su color (floculación), toda vez que su color amarillento hace que esta no sea agradable para consumir, sin embargo el agua no es contaminada, se puede decir que es amarilla debido a los compuestos Húmicos y férricos. El valor reportado sobrepasa el rango admisible.

La presencia de un color alto y el pH bajo, indican probablemente la presencia de ácidos Húmicos.

La conductividad del agua analizada es baja, lo cual indica que es un agua natural que no tiene muchos iones disueltos.

La turbiedad es menor de 10 NTU en época de sequía, es decir cumple con la norma, en época de lluvias aumento levemente, sin embargo no se alejo del rango permitido (10NTU). En general el agua no tiene materiales de suspensión como la muestra del agua del río de oro que en época de lluvia, tiene un valor exagerado de 390 NTU.

La alcalinidad del agua de El Carracá es excelente porque es muy baja, lo cual indica que no hay presencia de compuestos como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. El decreto 1594 de 1984, permite 100 miligramos por litro y el agua solamente está alrededor de 35 miligramos por litro.

Según la clasificación de dureza expresada en miligramos por litro de CaCO_3 , el agua analizada se clasifica en el rango blanda, por lo que indica que se puede utilizar para uso doméstico y que no necesita proceso de ablandamiento.

Según la teoría, en las aguas naturales, los Cloruros son menores que los Bicarbonatos y Sulfatos; el agua en la quebrada El Caracha, presenta unos Cloruros que son mayores que los Sulfatos, en cambio el agua del río de oro sí cumple con lo expuesto en teoría. El Decreto 1594 de 1984, acepta hasta 250 miligramos por litro, que son las concentraciones que producen un sabor salado al agua; promediando las cuatro muestras analizadas arrojan solamente un valor de 7 miligramos por litro.

El valor de Coliformes totales, es cuatro veces menor que el de la muestra de referencia contaminada, lo cual indica que a la quebrada El Carracá no se le vierten residuos domésticos.

Además por ningún lado se observó, la presencia de películas flotantes de aceites o grasas, procedente de restos de animales o lubricantes, indicando que el agua es limpia, se puede usar para consumo humano.

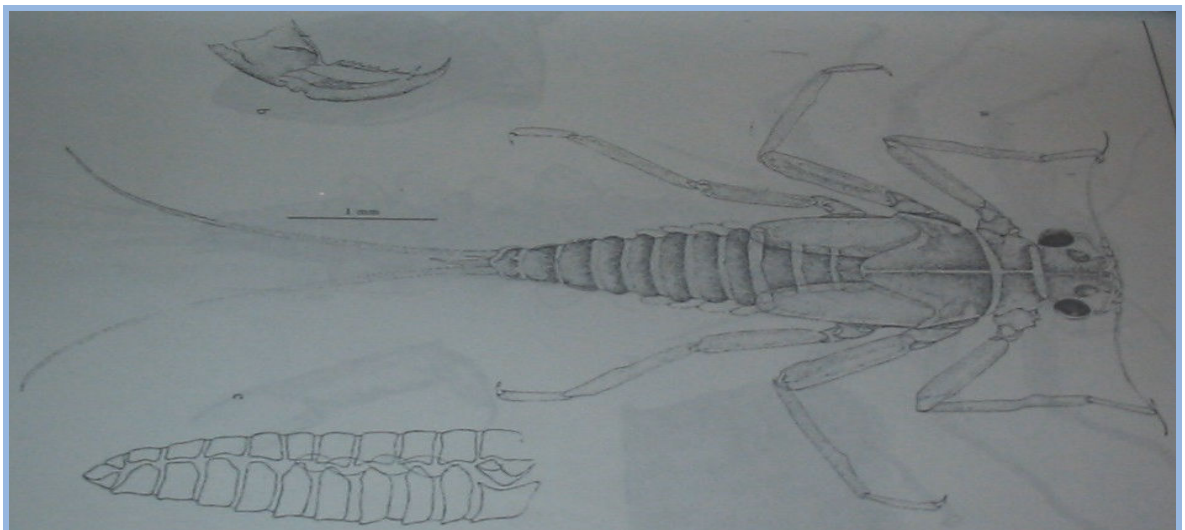
6.2 INTERPRETACION ANÁLISIS BIOLÓGICO

Los macroinvertebrados encontrados en la parte alta de la quebrada El Carracá, presenta las siguientes características.

6.2.1 Características morfológicas y hábitat de las familias de macroinvertebrados encontrados en la quebrada El Carracá del municipio de Los Santos

* **Baetidae.** Orden Ephemeroptera, Género Baetodes mide entre 4,5 y 6,0 mm, agallas coxales presentes; uñas con dientecillos, el primero más grande; color pardo oscuro. Habita en aguas rápidas, debajo de troncos, rocas, hojas y adheridos a vegetación sumergida. Indicadores de aguas limpias o ligeramente contaminadas, (ver Figura 3).

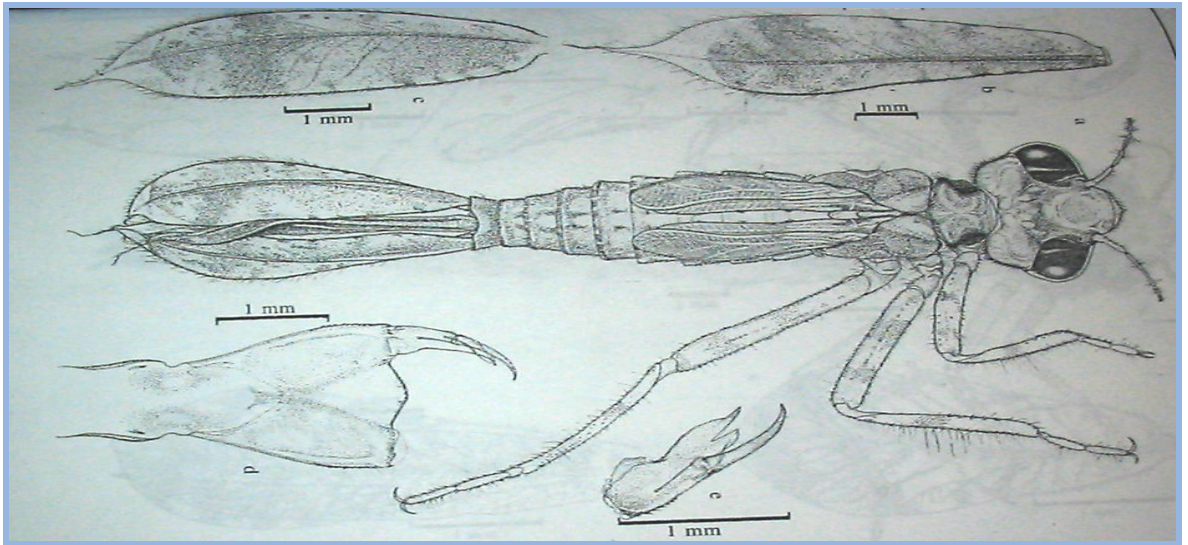
Figura 3. Baetidae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Coenagrionidae.** Orden Odonata, Género Argia, mide 11 mm sin contar agallas, patas aplanadas. Vive en lóticos moderados, entre rocas y vegetación. Indicadores de aguas oligomesotróficas, (ver Figura 4).

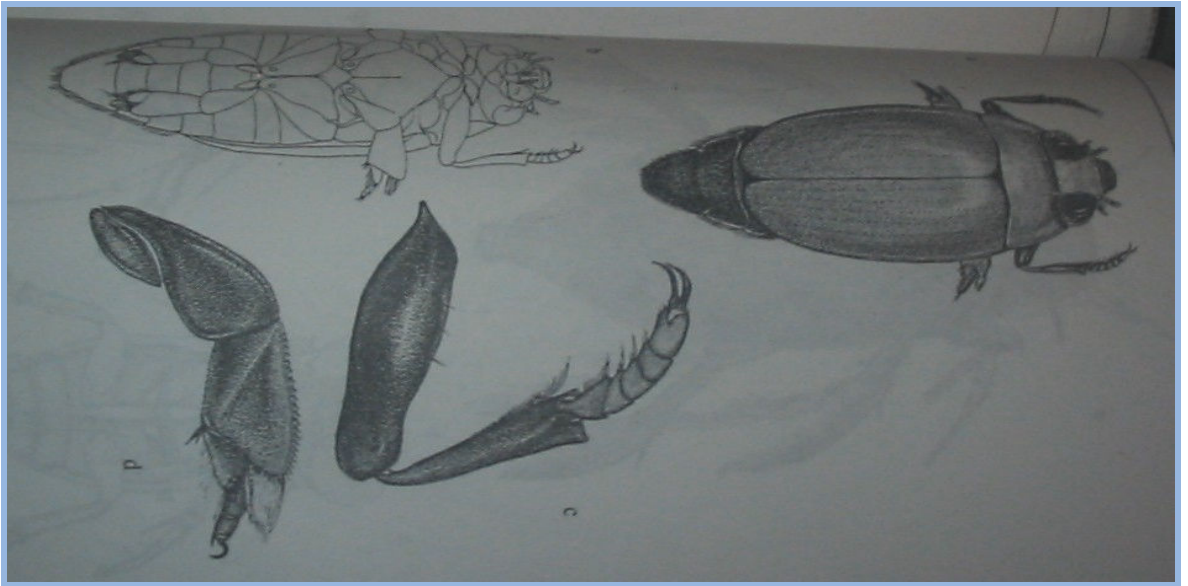
Figura 4. Coenagrionidae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Gyrinidae.** Orden Coleóptero, Género Andogyrus, tamaño de 2.0 a 15,mm, de color negro, su cuerpo presenta forma hidrodinámica, presentan adaptaciones para nadar en ojos, patas y antenas. De aguas lénticas y lóticas, viven en interfase aire-agua. En vegetación sumergida y emergente, son depredadores, (ver Figura 5).

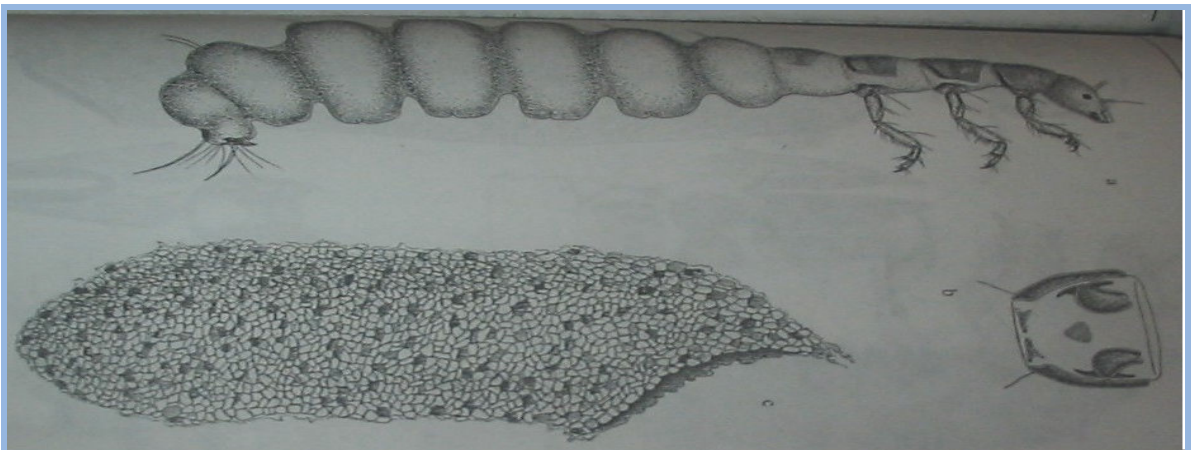
Figura 5. Gyrinidae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Hydroptilidae.** Orden Trichoptera, Género Hydroptila, tamaño 3,4 –4.0, muy pequeños, tres agallas, viven en casas de valvas de granos de arena. Se encuentra en aguas corrientes principalmente y en lénticas, indicadores de aguas oligotróficas. (ver Figura 6).

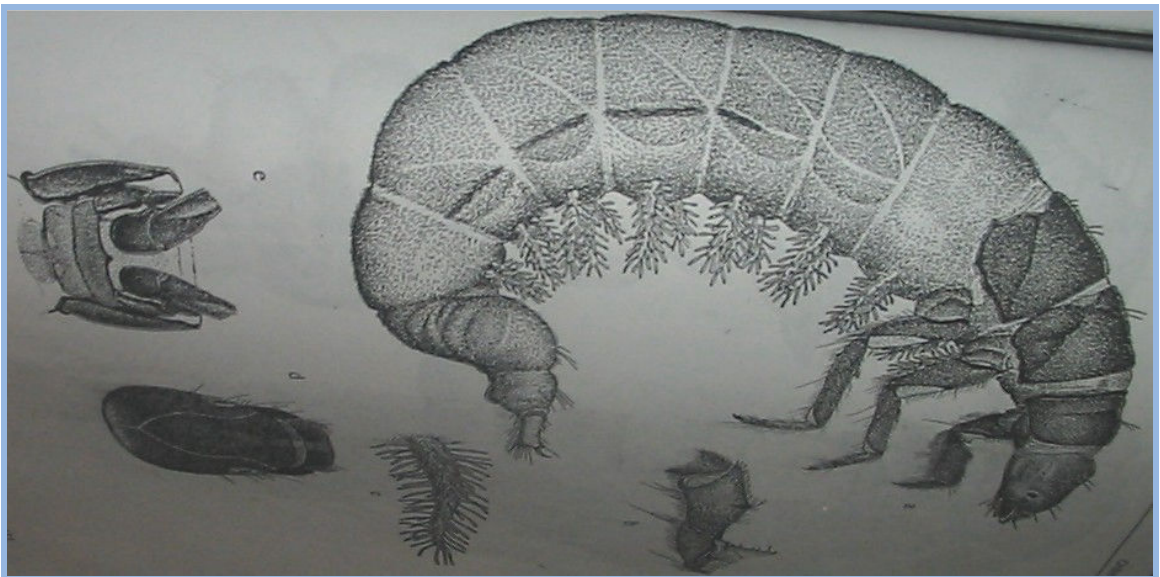
Figura 6. Hydroptilidae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Hydropsychidae.** Orden Trichoptera, Género Leptonema, tamaño 15 a 17 mm, agallas abdominales en los dos últimos segmentos torácicos, formadas por un tallo central, casas en forma de red para capturar alimento. Viven en aguas corrientes con mucha vegetación, toleran aguas con un poco de contaminación, muy abundantes, indicadores de aguas oligo a eutróficas (ver Figura 7).

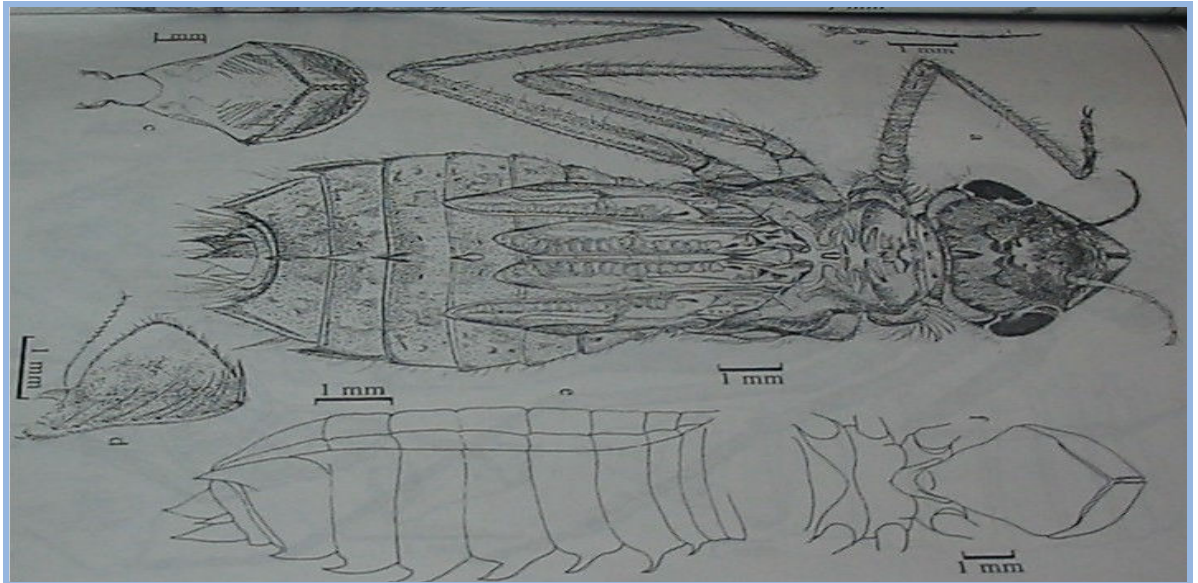
Figura 7. Hydropsychidae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Libellulidae.** Orden Odonata, Género Sympetrum, tamaño 13 a 21 mm, setas pálpales 9 a16, setas mentonianas 11 a18. Viven en pozos y remansos con mucha vegetación indicadores de aguas medianamente eutroficadas, (ver Figura 8).

Figura 8. Libellulidae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Lymanaeidae.** Orden Basommatofhora, Género Lymnaea, concha cónica dextrógira, viven prácticamente en todo tipo de agua y resisten cierto grado de contaminación, ampliamente distribuida en todo Sudamérica, (ver Figura9).

Figura 9. Lymanaeidae

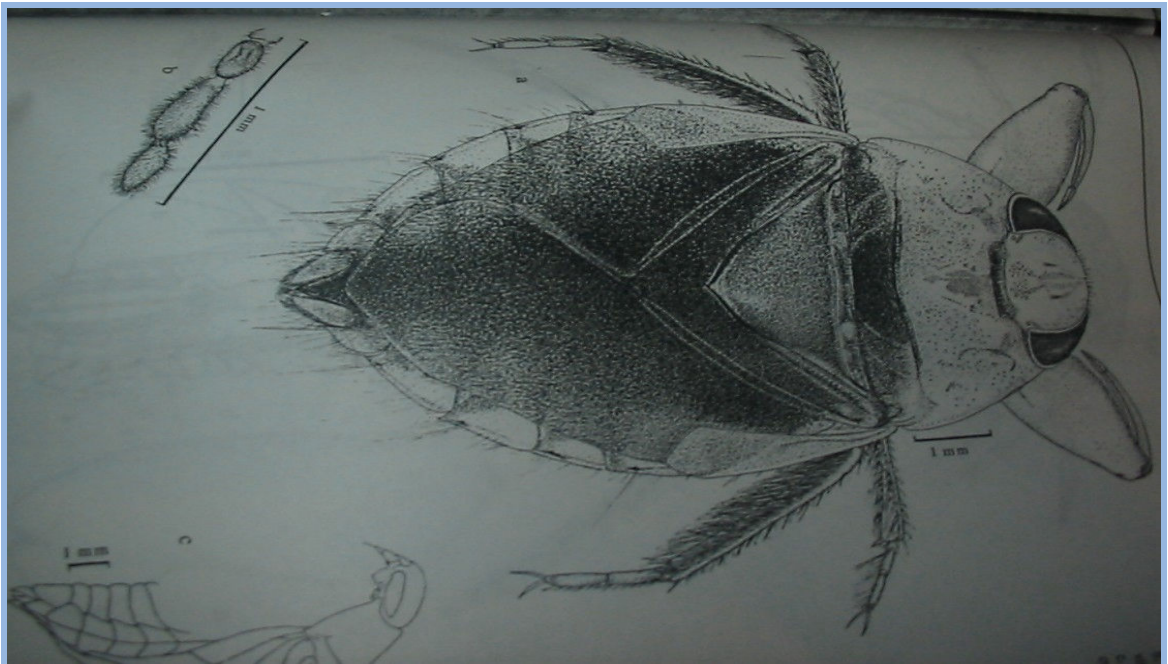


Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Naucoridae.** Orden Hemíptero, Género Pelocoris, tamaño 9.0 a 12.0 mm, cuerpo bastante robusto visto, color amarillo castaño, las márgenes internos de los

ojos convergen en su extremo anterior. Viven en aguas quietas con abundante vegetación, indicadores de aguas oligomesotróficas y eutróficas, (ver Figura 10).

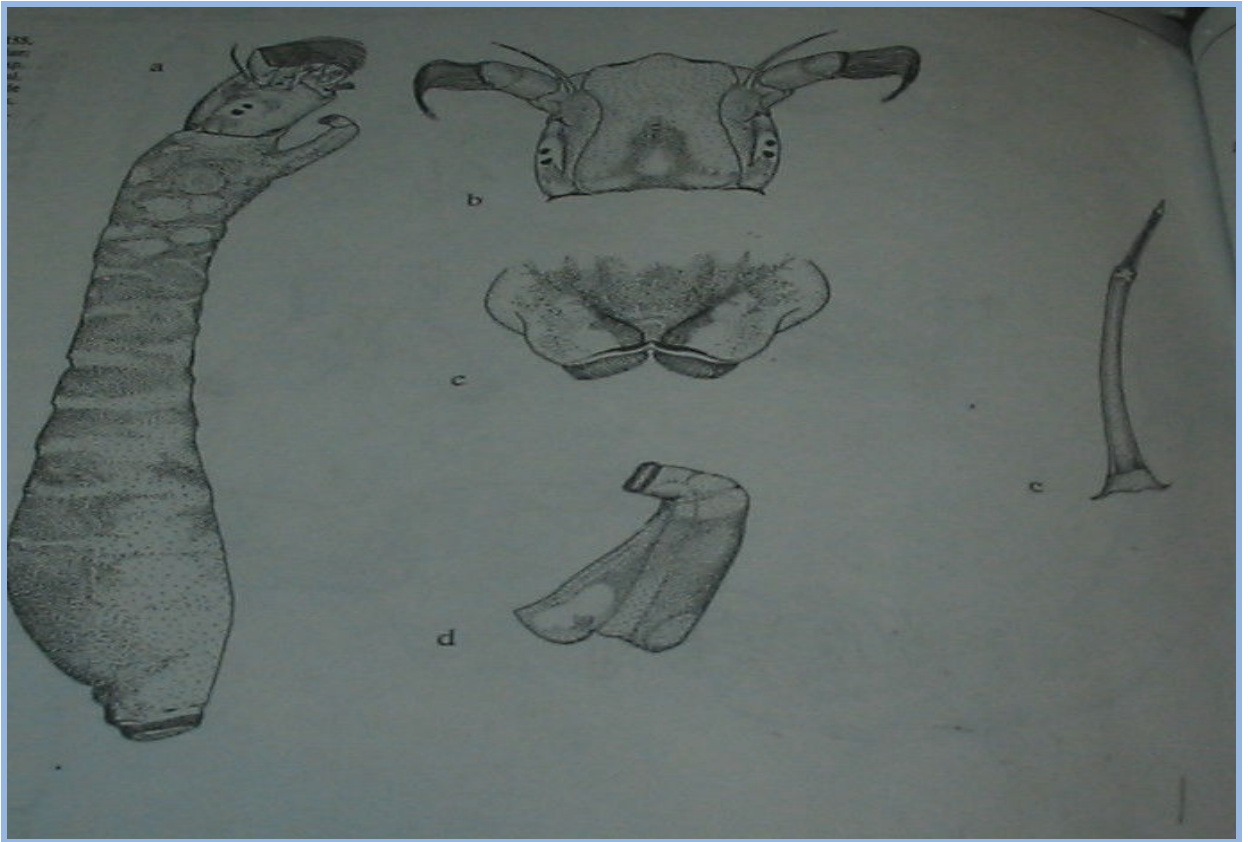
Figura 10. Naucoridae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Simuliidae.** Orden Díptera, Género Simulium, tamaño 3.0 a 15.0 mm, cabeza esclerotizada con manchas dorsales oscuras, propata torácica con pequeños dientes. Habita en aguas corrientes muy oxigenadas debajo de rocas y troncos, indicadores de aguas oligotróficas, (ver Figura 11).

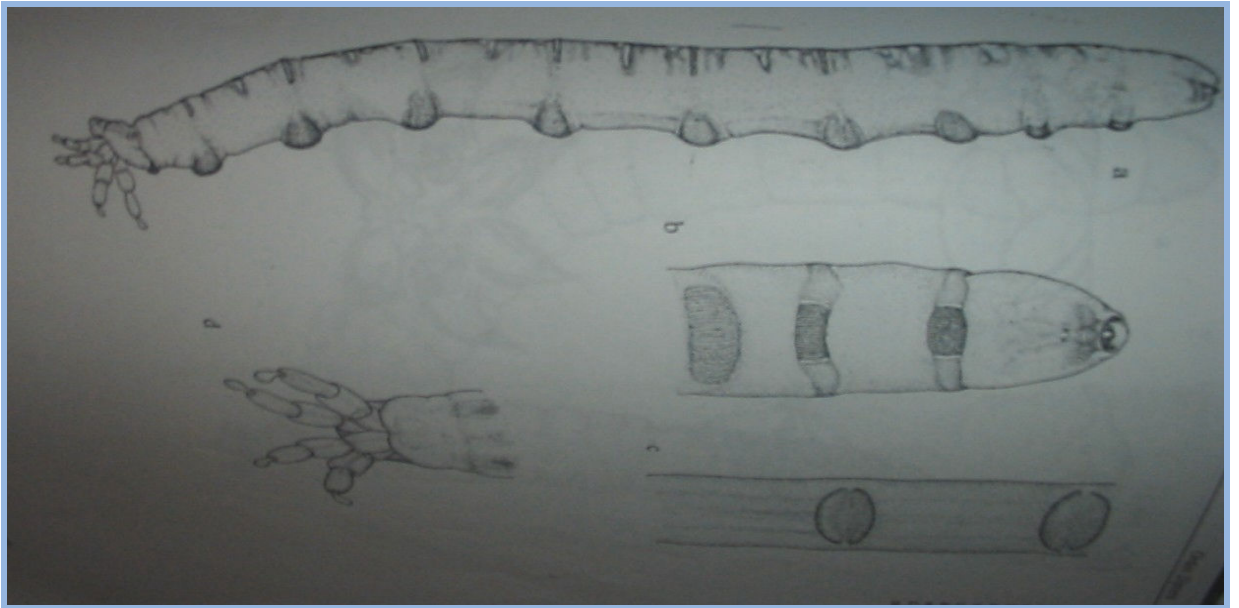
Figura 11. Simulidae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Tipulidae.** Orden Díptera, Género Limonia, tamaño 6.8 a 8.0 mm, segmentos torácicos y abdominales cortos, manchados dorsales. Semiacuáticos en algas que crecen sobre rocas emergentes, indicadores de aguas mesoeutróficas. (ver Figura 12).

Figura 12. Tipulidae

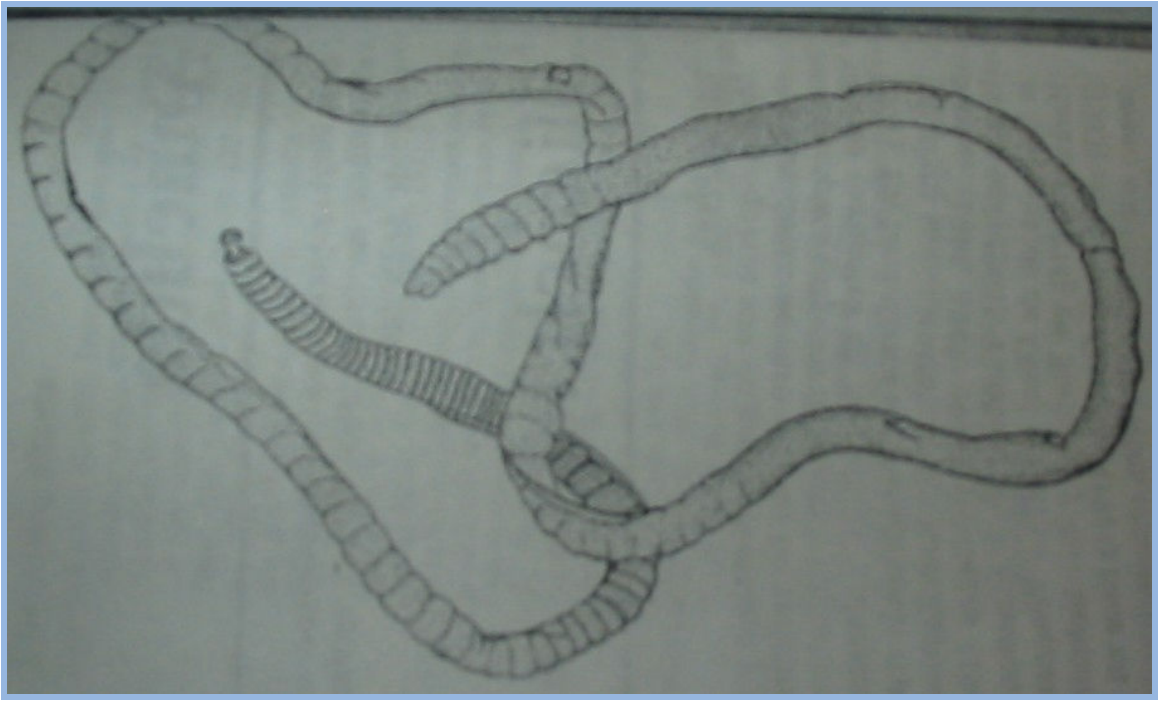


Fuente: ROLDAN, G (2004)

* **Tubificidae.** Clase Oligochaeta, Género Tubifex, tamaño promedio 40- 50 mm, pocas setas en cada segmento, cabeza poco desarrollada, son hermafroditas, viven en aguas eutroficadas sobre fondo fangoso y con abundante cantidad de detritus, pueden vivir a varios metros de profundidad donde el Oxígeno escasea. Los estudios en Suramérica son muy escasos como para tener una visión de su distribución en esta parte del continente. El país en el que mejor se han estudiado es en Brasil. Para Colombia se han reportado los géneros Prístina, Slavina, Tubifex y Drilocrius,⁵ (ver Figura 13).

⁵ ROLDAN, G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos en el Departamento de Antioquia, Editorial Presencia, Bogotá, 1988

Figura 13. Tubificidae



Fuente: ROLDAN, G (2004)

6.2.2 Categorías principales de consumidores invertebrados de la quebrada El Carracá de acuerdo a su habito alimenticio. En la quebrada El Carracá se encontraron las siguientes categorías de consumidores invertebrados de los ambientes de agua dulce.

* **Trituradores.** Son detritívoros que se alimentan de materia orgánica en partículas gruesas (partículas con un tamaño superior a los 2 mm), alimentándose a la vez que fragmentan la materia, se alimentan de las hojas que caen en el agua. Ejemplo: Tipulidae.

* **Colectores recolectores.** Obtienen las partículas orgánicas muertas (menos de 2mm) de los residuos y sedimentos del lecho de la microcuenca Ejemplo: Tubificidae. Baetidae.

* **Colectores Filtradores.** Toman las pequeñas partículas orgánicas del agua corriente; presentan unas piezas bucales apropiadas para raspar y consumir la capa orgánica fijada sobre las rocas y piedras, la cual consta de algas, bacterias hongos y materia orgánica muerta absorbida a la superficie del sustrato. Ejemplo: Simuliidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae

* **Carnívoros.** Libellulidae, Gyrinidae

6.2.3 Calidad del agua. De la tabla dos (2) titulada clases de calidad del agua se puede observar que el agua de la quebrada El Carracá corresponde a un agua de clase II, calidad aceptable, valor entre 61 y 100 color verde y significado son evidentes algunos efectos de contaminación.

CLASE	CALIDAD	VALOR	SIGNIFICADO	COLOR
II	Aceptable	61 – 100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde

Se observa que no cumple con las especificaciones de agua clase I, porque la clasificación es muy exigente y para que cumpla con este requisito debe ser un agua manantial, donde predomine el clima páramo y no haya intervención del hombre, desafortunadamente el agua analizada está muy próxima a una zona rural donde habitan seres humanos.

6.3 INTERPRETACION DEL ENSAYO DE TOXICIDAD.

A la muestra analizada, se le calcularon las Unidades Tóxicas arrojando un valor adimensional de uno (1) que indica que el agua de la quebrada El Carracá es un agua no toxica, donde puede vivir cualquier comunidad de especies acuáticas, y la cual puede ser consumida por el hombre debido a que no presenta sustancias

químicas naturales ni artificiales que contaminen las diferentes estructuras celulares ni existe peligro de formación de mutaciones.

CONCLUSIONES

Se caracterizó biológicamente la parte alta de la microcuenca encontrando la presencia de once (11) familias de macroinvertebrados bentónicos.

Se comprobó que el agua es apta para consumo humano porque cumple con los criterios admisibles de calidad del agua según el índice BMWP.

El agua de la quebrada El Carracá es apta para destinarla a tratamiento convencional, con miras a consumo humano, ya que cumple con los requisitos establecidos en el Decreto 1594 de 1984, a excepción del contenido de coliformes fecales y totales, especialmente en época de sequía, donde se requiere realizar tratamientos de desinfección.

El agua es de buena calidad tanto fisicoquímicamente como biológicamente, pero no excluye el tratamiento.

Como no se encontraron organismos acuáticos en el sustrato artificial (canasta de alambre) se deduce que en el nacimiento de la quebrada no existen familias de macroinvertebrados que se fijan en rocas en aguas de corrientes poco profundas, por lo cual se realizó un análisis de toxicidad.

A la muestra que se le realizó análisis de toxicidad, arrojó resultado no tóxico, lo cual indica que en el agua no hay presencia de plaguicidas, ni residuos químicos, se recomienda hacer otro análisis de toxicidad después de 800 metros aguas abajo para compararlo con el que se realizó y evaluar que efectivamente el agua no es tóxica.

Es preferible que el agua se hierva y no se desinfecte con Cloro cuando se va a usar para el consumo humano.

Se recomienda tratamiento, porque en los procesos de floculación, sedimentación y filtración los parásitos se quedan en los lodos.

Se comenta que el vertimiento de aguas residuales domésticas a la quebrada La Honda, eleva el contenido de coliformes totales y fecales, paralelamente, se observa que el agua del río de oro es muy buena por la mínima presencia de coliformes totales y fecales, la parte alta de la quebrada El Carracá presenta valores medios de coliformes totales.

Se observa que el hierro no sería inconveniente para el tratamiento de éste tipo de aguas, puesto que los valores no son muy altos, igualmente podrían ser disminuidos por el proceso de coagulación y floculación.

BIBLIOGRAFÍA

- ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS Water and environmental Technology. 1991, vol. 11.01.P.534 – 539.
- BERMÚDEZ TARAZONA, Graciela. Educación Ambiental. Universidad Francisco de Paula Santander. San José de Cúcuta. 2001.
- BOHÓRQUEZ A., ARDILA J., y FRANCO La contribución al estudio limnológico por bioindicación con macroinvertebrados bentónicos en aguas continentales de Colombia. Fase I, río Bogotá. En: Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Vol. 7, No 1-2 (Dic. 1993) P. 56-59.
- CUARTAS CALLE, Carlos y OTRO. Marsapiales, cenoslestidos e insectívoros de Colombia. Colección ciencia y tecnología. 2003
- Disponible en Internet <<http://www.menssana.com.ve>>
- Disponible en Internet <<http://www.oas.org>>
- Disponible en Internet <<http://www.people.virginia.edu>>
- Disponible en Internet: <angelfire.com/ca6/angie/tecnicascom.html>
- ERO R, Jairo Alberto, ACUIQUIMICA. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER 1996

- GARCIA DE AYA, Rosa. Análisis Químico y Bacteriológicos en el Control de Agua. Bucaramanga; UIS . 1983.P.15.
- LOPRETTO, Estela y TELL, Guillermo. Ecosistemas en aguas continentales metodológicas para su estudio. Ediciones Sur
- MARGALEF, Ramón. Ecología. Universidad de Barcelona. Ediciones Omega. Barcelona. 1998.
- ODUM, E. Ecología. Editorial interamericana. México. 1992
- OPAZO, Mario, Tecnologías Sanitarias y Ambientales. Universidad Javeriana. 2000
- PAEZ, P, Vivian. Guía de campo de algunas especies de anfibios y reptiles de Antioquia. 2002.
- PUENTE BRUGES, Jairo. Deterioro del medio Natural y Humano. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2003.
- RESTREPO, Ricardo. Ecología. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2003
- ROLDAN, G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos en el Departamento de Antioquia. Editorial Presencia, Bogotá, 1988
- ROLDAN, G. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWO/Col . Universidad de Antioquia Medellín Colombia. 2004

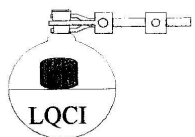
- STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater. 14th Edition. 1975.P.466-482.
- VARGAS, Luz Yolanda. Laboratorio de Aguas I Universidad Industrial de Santander. 2003
- VERNON, L.Snoeyink. Water Chemistry. New York: John Wiley and Sons. 1985. P.298-301.
- WINKLER, Michael. Tratamiento biológico de aguas de desecho. México: Limusa Noriega editores. 1986. P. 294-296.

ANEXO A

Descripción cartográfica del Ecosistema ubicado en la Estación Biológica Guayacanal y su microcuenca quebrada El Carracá del municipio de Los Santos



Anexo B. Resultados fisicoquímicos parte alta de la quebrada El Carracá en época de lluvias



FECHA : Octubre 3 de 2003
 NOMBRE DEL SOLICITANTE: CRISTIAN CALDERON
 NOMBRE DE LA MUESTRA : Agua
 No. DE MUESTRAS : 1
 MUESTRAS TOMADAS POR : El Solicitante
 FECHA LLEGADA AL LABORATORIO : Septiembre 24 de 2003

RESULTADOS

Muestra identificada como:

Agua Cruda Mesa de los Santos

PARÁMETRO	RESULTADO	Valor Admisible*
pH (Unidades de pH)	6.2	6.5 – 9.0
Color (UPC)	102	<15
Turbiedad (UNT)	12.6	<5
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻²)	5.64	250
Sólidos Totales (mg/L)	26	<500
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	32.38	100
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	24	160
Cloruros (mg Cl/L)	6.39	250
Hierro (mg Fe /L)	1.78	<0.3

* Valor Admisible para aguas tratadas para consumo humano según decreto 475 de marzo de 1998

Luz Yolanda Vargas F.
Luz Yolanda Vargas Fiallo
 Director Laboratorio Químico
 de Consultas Industriales
 Matrícula Profesional PQ.1144

Anexo C. Resultados microbiológicos parte alta de la quebrada El Carracá
en época de lluvia

**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS
Y EL MEDIO AMBIENTE**

NTT: 804-012.069-6

Ciudad y fecha: Bucaramanga, Octubre 24 de 2003	
Solicitante: Christian Calderón	N° : 725
Dirección: Quebrada "El Carraca"	Producto: Agua de Quebrada
Teléfono: 6540336 6564231	Descripción: Cruda
Lugar de muestreo: Quebrada	Tamaño de la muestra: 500 ml
Fecha de recibo: Octubre 22/2003	Tipo de empaque: Botella de vidrio
Fecha de Análisis: Octubre 22/2003	Responsable de muestreo: Solicitante
Examen solicitado: Microbiológico	

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO	NORMA
RECuento DE MESÓFILOS UFC/100 ml	Filtración por Membrana	4800	
COLIFORMES TOTALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	280	Máximo 1.000
COLIFORMES FECALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	10	-

CONCEPTO: Según decreto 1594 del /83 se recomienda tratamiento de filtración y desinfección para uso del agua para consumo humano y doméstico.

OBSERVACIONES: El agua presenta sedimento y color.

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA E.A.T.


FABIO ANAYA PAYARES
MICROBIÓLOGO
REG. 0303

*
ALBIO ENRIQUE ESPINOSA SAFAR
DIRECTOR

* Blanca Stella Piaz.

E-mail: siamaltda@andinet.com
E-mail: siamaccial@andinet.com

Carrera 34 No. 46 - 46
Edificio Médicos San Pío Piso 7
Conmutador: 643 3335
Lab. Ext. 603 / Admon. Ext. 604
Telefax: 657 5497

Anexo D. Resultados microbiológicos tomada 800 metros aguas debajo de la quebrada El Carracá en época de lluvia



SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL MEDIO AMBIENTE

Ciudad y fecha: Bucaramanga, Marzo 10 de 2004	
Solicitante: Christian Calderón	Nº : 04095
Dirección: Muestra Nº 1	Producto: Agua
Teléfono: 6540336 6564231	Descripción: Sin tratar
Lugar de muestreo:	Tamaño de la muestra: 500 ml
Fecha de recibo: Marzo 8 de 2004	Tipo de empaque: Botella de vidrio
Fecha de Análisis: Marzo 9 de 2004	Responsable de muestreo: Solicitante
Examen solicitado: Microbiológico	

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO	NORMA
RECuento DE MESÓFILOS UFC/100 ml	Filtración por Membrana	6.760	
COLIFORMES TOTALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	5.560	Máximo 1.000
COLIFORMES FECALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	150	-

CONCEPTO: Según decreto 1594 del /83 se recomienda tratamiento de filtración y desinfección para uso del agua para consumo humano y doméstico.

OBSERVACIONES: El agua presenta turbidez y color

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA E.A.T.


FABIO ANAYA PAYARES
 MICROBIÓLOGO
 REG. 0303


ALBIO ENRIQUE ESPINOSA SAFAR
 DIRECTOR

Carrera 34 No. 46-46 Edificio Médicos San Pío Piso 7 - Conmutador: 643 33 35
 Lab. Ext. 603 / Admon. Ext. 604 - Telefax: 657 54 97

E-mail: siamaltda@andinet.com
 E-mail: siamaccial@andinet.com

Anexo E. Resultados microbiológicos parte alta de la quebrada El Carracá en época de sequía.



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS
Y EL MEDIO AMBIENTE**

Ciudad y fecha: Bucaramanga, Marzo 10 de 2004	
Solicitante: Christian Calderón	N° : 04096
Dirección: Muestra N° 2	Producto: Agua
Teléfono: 6540336 6564231	Descripción: Sin tratar
Lugar de muestreo:	Tamaño de la muestra: 500 ml
Fecha de recibo: Marzo 8 de 2004	Tipo de empaque: Botella de vidrio
Fecha de Análisis: Marzo 9 de 2004	Responsable de muestreo: Solicitante
Examen solicitado: Microbiológico	


RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO	NORMA
RECUENTO DE MESÓFILOS UFC/100 ml	Filtración por Membrana	10.140	
COLIFORMES TOTALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	6.760	Máximo 1.000
COLIFORMES FECALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	70	-

CONCEPTO: Según decreto 1594 del /83 se recomienda tratamiento de filtración y desinfección para uso del agua para consumo humano y doméstico.

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA E.A.T.


FABIO ANAYA PAYARES
 MICROBIÓLOGO
 REG. 0303


ALBIO ENRIQUE ESRINOSA SAFAR
 DIRECTOR

Carrera 34 No. 46-46 Edificio Médicos San Pío Piso 7 - Conmutador: 643 33 35
 Lab. Ext. 603 / Admon. Ext. 604 - Telefax: 657 54 97

E-mail: siamalda@andinet.com
 E-mail: siamaccial@andinet.com

Anexo F. Resultados microbiológicos tomada 800 metros aguas abajo de la quebrada El Carracá en época de sequía.



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS
Y EL MEDIO AMBIENTE**



Ciudad y fecha: Bucaramanga, Marzo 10 de 2004	
Solicitante: Christian Calderón	Nº : 04096
Dirección: Muestra Nº 2	Producto: Agua
Teléfono: 6540336 6564231	Descripción: Sin tratar
Lugar de muestreo:	Tamaño de la muestra: 500 ml
Fecha de recibo: Marzo 8 de 2004	Tipo de empaque: Botella de vidrio
Fecha de Análisis: Marzo 9 de 2004	Responsable de muestreo: Solicitante
Examen solicitado: Microbiológico	

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO	NORMA
RECUENTO DE MESÓFILOS UFC/100 ml	Filtración por Membrana	10.140	
COLIFORMES TOTALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	6.760	Máximo 1.000
COLIFORMES FECALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	70	-

CONCEPTO: Según decreto 1594 del /83 se recomienda tratamiento de filtración y desinfección para uso del agua para consumo humano y doméstico.

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA E.A.T.

 FABIO ANAYA PAYARES MICROBIÓLOGO REG. 0303	 ALBIO ENRIQUE ESRINOSA SAFAR DIRECTOR
--	---

Carrera 34 No. 46-46 Edificio Médicos San Pío Piso 7 - Conmutador: 643 33 35
Lab. Ext. 603 / Admon. Ext. 604 - Telefax: 657 54 97

E-mail: siamalda@andinet.com
E-mail: siamaccial@andinet.com

Anexo G. Resultados microbiológicos quebrada La Honda en época de sequía



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS
Y EL MEDIO AMBIENTE**

Ciudad y fecha: Bucaramanga, Marzo 10 de 2004	
Solicitante: Christian Calderón	N° : 04097
Dirección: Muestra N° 3	Producto: Agua
Teléfono: 6540336 6564231	Descripción: Sin tratar
Lugar de muestreo:	Tamaño de la muestra: 500 ml
Fecha de recibo: Marzo 8 de 2004	Tipo de empaque: Botella de vidrio
Fecha de Análisis: Marzo 9 de 2004	Responsable de muestreo: Solicitante
Examen solicitado: Microbiológico	

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO	NORMA
RECuento DE MESÓFILOS UFC/100 ml	Filtración por Membrana	20.280	
COLIFORMES TOTALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	16.900	Máximo 1.000
COLIFORMES FECALES UFC/100 ml	Filtración por Membrana	4.720	-
<p>CONCEPTO: Según decreto 1594 del /83 se recomienda tratamiento de filtración y desinfección para uso del agua para consumo humano y doméstico.</p> <p>OBSERVACIONES: El agua presenta bastante color y turbidez</p> <p>Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA E.A.T.</p>			
<p>FABIO ANAYA PAYARES MICROBIÓLOGO REG. 0303</p>		<p>ALBIO ENRIQUE ESPINOSA SAFAR DIRECTOR</p>	

Carrera 34 No. 46-46 Edificio Médicos San Pío Piso 7 - Conmutador: 643 33 35
Lab. Ext. 603 / Admon. Ext. 604 - Telefax: 657 54 97

E-mail: siamaltda@andinet.com
E-mail: siamaccial@andinet.com