

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA BRINDANDO ALTERNATIVAS DE
PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE ZONAS CONTAMINADAS EN LA
MICROCUEENCA GENOY – GUAICO CORREGIMIENTO DE GENOY MUNICIPIO
DE PASTO

VERÓNICA EMILIA ORTEGA GUERRA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO
2007

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA BRINDANDO ALTERNATIVAS DE
PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE ZONAS CONTAMINADAS EN LA
MICROCUEENCA GENOY – GUAICO CORREGIMIENTO DE GENOY MUNICIPIO
DE PASTO

VERÓNICA EMILIA ORTEGA GUERRA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de
Biólogo con énfasis en ecología

Director
Esp. GUILLERMO CASTILLO BELALCÁZAR

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO
2007

Nota de aceptación:

Director

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, 26 de marzo de 2007

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

Artículo 1° del acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por darme la vida y cada una de las experiencias vividas que hoy hacen de mí una mejor persona, por ser esa luz de mí camino que jamás se apagara.

A mis padres Edgar Ortega y Gloria Guerra, quienes siempre creyeron en mí a pesar de los momentos difíciles, por su amor, apoyo incondicional, sus oraciones y por ser para mí el mejor orgullo y lo mas importante que tengo en la vida.

A mis hermanos Liliana, Claraines, Javier y Gloria, semillas de fuerza y amor para lograr hoy lo que soy. Gracias por hacerme saber que me quieren y que soy importante para ustedes.

A mis familiares, profesores y más sinceros amigos, por cada una de las palabras alentadoras, consejos, espera y cariño que siempre llevare en mi alma.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a:

Guillermo Castillo Belalcázar. Especialista en ecología y docente de la Universidad de Nariño, por no solo ser mi asesor permanente, sino esa mano amiga que me supo orientar durante la investigación y desarrollo de este trabajo. Por su tiempo, paciencia, apoyo y sus conocimientos.

A mis jurados evaluadores, Jhon Jairo Calderón y Ariel Gómez Ceron. Quienes con su profesionalismo hicieron valiosos aportes, que contribuyeron a los buenos resultados de este trabajo. Por su interés, comprensión y colaboración prestada cuando lo necesitaba.

Juan Carlos Garzón. Geógrafo, quien con su amistad y tolerancia, estuvo a mi lado brindándome los mejores consejos, ánimo, apoyo y colaboración incondicional durante el desarrollo de esta investigación.

Todos mis amigos que fueron testigos de lágrimas y risas, por todos los inolvidables y locos momentos que se quedarán grabados en mi memoria. En especial a Leydi Gómez, Johanna Benavides, Carol Narváez, Mónica Izquierdo, Jennifer Quenan, Sandra Madroño, Francisco Yaqueno, Camilo Villarreal, Miguel Argothy, Jorge Salazar, Emilio Chavesorbegozo, James Luna, Jaime Ortega, y Mario López Erazo; por su agradable compañía, caídas, inclemencias del tiempo, secretos, pero sobretodo por ser el tesoro más grande que he encontrado y por darle ese maravilloso sentido a mi vida. Los quiero mucho.

A todos los habitantes del corregimiento de Genoy, considerando factible esta investigación, a Diego Vallejo excorregidor y a don Saturdino y su pequeño hijo, por su gentil ayuda, compañía en los recorridos de la microcuenca disposición y entusiasmo con el proyecto.

A la Universidad de Nariño, al centro de estudios de desarrollo regional y empresarial (CEDRE), a Msc. Leonor Martínez Sierra, a Ing. Germán Chávez Jurado director de jefatura de laboratorios y al personal de laboratorios en especial a Mónica Hernández, Mauricio Rodríguez, Guido Villota y Julbriner Salas.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	24
1. OBJETIVOS	26
1.1 OBJETIVO GENERAL	26
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
2. JUSTIFICACIÓN	27
3. MARCO REFERENCIAL	29
3.1 ANTECEDENTES	29
3.2 MARCO CONCEPTUAL	34
3.2.1 Microcuenca hidrográfica	35
3.2.2 Calidad del agua	36
3.2.3 Contaminación del agua	36
3.2.4 Fuentes puntuales y difusas de contaminación	37
3.2.5 Agua potable y salud humana	37
3.2.6 Parámetros para evaluación de calidad del agua	39
3.2.6.1 Parámetros físicos	39
3.2.6.1.1 Turbiedad	39
3.2.6.1.2 Temperatura	39
3.2.6.1.3 Color	39
3.2.6.1.4 Olor	40
3.2.6.1.5 Conductividad	40

3.2.6.1.6	Sólidos totales	40
3.2.6.1.7	Caudal	40
3.2.6.2	Parámetros químicos	41
3.2.6.2.1	Oxígeno disuelto	41
3.2.6.2.2	Dióxido de carbono	41
3.2.6.3	Indicadores biológicos	41
3.2.6.3.1	Macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua	41
3.2.6.3.2	Características de un buen indicador	42
3.2.6.4	Análisis bacteriológico del agua	42
3.2.6.4.1	Criterios de calidad bacteriológica del agua	43
3.2.6.5	Índices biológicos	44
3.2.6.5.1	Índice BMWP	44
3.2.6.5.2	Mapas de calidad de agua	45
3.2.6.5.3	Índice ASPT	46
3.2.6.5.4	Índice de diversidad de Margalef	46
3.2.6.5.5	Índice de diversidad Simpson	47
3.2.6.5.6	Afinidad (Bray – Curtis)	47
3.2.7	La interpretación cartográfica	48
3.2.8	Protección y recuperación para la calidad del agua en la microcuenca	48
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	50
4.1	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	50

4.1.1 Fase de campo	55
4.1.1.1 Toma de muestras	57
4.1.1.2 Parámetros físico-químicos	57
4.1.1.3 Indicadores microbiológicos	58
4.1.1.4 Métodos de captura para macroinvertebrados acuáticos	58
4.1.2. Fase de laboratorio	59
4.1.2.1 Métodos estándar utilizados en la medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos	59
4.1.2.2 Identificación de los bioindicadores acuáticos	59
4.2 ANÁLISIS DE DATOS	60
4.2.1 Evaluación limnológica	60
4.3 ALTERNATIVAS DE PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA	60
4.3.1 Diagnostico general	60
5. RESULTADOS	61
5.1 ANÁLISIS LIMNOLOGICO	61
5.1.1 Evaluación de la calidad del agua	61
5.1.1.1 Físico-química del agua	62
5.1.1.1.1 Turbiedad	62
5.1.1.1.2 Temperatura del agua	62
5.1.1.1.3 Color	62
5.1.1.1.4 Conductividad	62
5.1.1.1.5 Sólidos totales	62

5.1.1.1.6	Cálculo del caudal hídrico	62
5.1.1.1.7	Oxígeno disuelto	62
5.1.1.1.8	Dióxido de carbono	62
5.1.1.2	Factores biológicos del agua	63
5.1.1.2.1	Macroinvertebrados acuáticos	63
5.1.1.3	Análisis microbiológico	67
5.1.1.3.1	Coliformes totales	67
5.1.1.3.2	Coliformes fecales	67
5.1.1.4	Índices bióticos para calidad de agua	68
5.1.1.4.1	BMWP y ASPT	68
5.1.1.4.2	Índices de diversidad de Margalef	70
5.1.1.4.3	Índice de diversidad de Simpson	70
5.1.1.4.4	Curva de diversidad y diversidad con abundancia acumulada	70
5.1.1.4.5	Afinidad (Bray – Curtis)	71
5.2	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN	71
5.2.1	Diagnostico de focos de contaminación difusos y puntuales	73
5.2.1.1	Contaminación puntual	73
5.2.1.1.1	Basuras	73
5.2.1.1.2	Sitios de paso	73
5.2.1.2	Contaminación difusa	74
5.2.1.2.1	Ganadería	74

5.2.1.2.2. Agricultura	75
5.3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FOCOS DE CONTAMINACIÓN EN LA MICROCUENCA GENOY – GUAICO	75
5.3.1 Contaminación puntual	77
5.3.1.1 Basuras	77
5.3.1.1.1 Objetivos a lograr	77
5.3.1.1.2 Acciones a emprender	77
5.3.1.1.3 Indicadores	77
5.3.1.2 Sitios de paso	77
5.3.1.2.1 Objetivos a lograr	77
5.3.1.2.2 Acciones a emprender	78
5.3.1.2.3 Indicadores	78
5.3.2 Contaminación difusa	78
5.3.2.1 Ganadería	78
5.3.2.1.1 Objetivos a lograr	78
5.3.2.1.2 Acciones a emprender	79
5.3.2.1.3 Indicadores	79
5.3.2.2 Agricultura	79
5.3.2.2.1 Objetivos a lograr	80
5.3.2.2.2 Acciones a emprender	80

5.3.2.2.3 Indicadores	80
6. DISCUSIÓN	85
7. CONCLUSIONES	95
8. RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.	51
Figura 2. Variación mensual de precipitación de la microcuenca Genoy – Guaico del año 1994 al 2005.	52
Figura 3. Variación mensual de precipitación y temperatura de la microcuenca Genoy – Guaico del año 1994 al 2005.	52
Figura 4. Estación I, donde se resalta la protección de la quebrada por la presencia de vegetación riparia.	54
Figura 5. Estación II, notándose el fácil acceso a la corriente por la falta de vegetación protectora.	54
Figura 6. Estación III, se destaca terrenos desnudos de vegetación y la variedad de rutas directas hacia el agua de la quebrada.	54
Figura 7. Punto de muestreo para macroinvertebrados acuáticos.	56
Figura 8. Recolección contra la corriente de agua de bentos acuáticos mediante la red de Surber.	58
Figura 9. Recolección manual de bentos acuáticos. Genoy – Guaico presentes en los meses de muestreo.	58
Figura 10. Ordenes de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy - Guaico presentes en los meses de muestreo.	63
Figura 11. Familias de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy - Guaico presentes en los meses de muestreo.	64
Figura 12. Géneros de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca Genoy – Guaico presentes en los meses de muestreo.	64
Figura 13. Ordenes de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy Guaico para las tres estaciones de muestreo.	65
Figura 14. Familias de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy Guaico para las tres estaciones de muestreo.	65
Figura 15. Géneros de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy Guaico para las tres estaciones de muestreo.	66
Figura 16. Mapa de calidad del agua en el sector de estudio de la microcuenca Genoy – Guaico.	69
Figura 17. Curva de diversidad y diversidad con abundancia acumulada de géneros de macroinvertebrados acuáticos para las tres estaciones en los meses de muestreo en la microcuenca Genoy – Guaico.	70
Figura 18. Afinidad de géneros de macroinvertebrados acuáticos para las tres estaciones de muestreo.	71
Figura 19. Predios y puntos de contaminación en la microcuenca Genoy – Guaico.	72

Figura 20. Áreas críticas de contaminación en la microcuenca	76
Figura 21. Actividad ganadera en la zona alta, media y baja de la microcuenca.	81
Figura 22. Actividad agrícola en la zona alta, media y baja de la microcuenca.	82
Figura 23. Siembra de eucalipto en la zona media de la microcuenca.	83
Figura 24. Desprotección de las riveras por falta de vegetación riparia en la zona baja de la microcuenca.	83
Figura 25. Sitios de paso en la zona media de la microcuenca.	84
Figura 26. Ampliación de la frontera agrícola y ganadera en la zona alta de la microcuenca.	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Morbilidad o enfermedad por consulta externa y urgencias según el sexo	33
Tabla 2. Morbilidad o enfermedad por consulta externa según grupos de edad	34
Tabla 3. Principales enfermedades relacionadas con el agua	38
Tabla 4. Criterios utilizados para la clasificación de las aguas según el NMP de coliformes totales en 100 ml	43
Tabla 5. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (para Colombia)	45
Tabla 6. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, significado y colores para representaciones cartográficas	46
Tabla 7. Interpretación del índice de Margaleft	47
Tabla 8. Interpretación del índice de Simpson	47
Tabla 9. Interpretación del índice Afinidad (Bray – Curtis)	48
Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos en los meses de muestreo	61
Tabla 11. Coliformes totales y fecales (UCF/100ml) encontrados en las tres estaciones y meses de muestreo en la microcuenca Genoy – Guaico	67
Tabla 12. Valores de los índices BMWP y ASPT adaptados para Colombia según Roldan, en las tres estaciones de los meses de muestreo	68
Tabla 13. Coordenadas geográficas y alturas de contaminación puntual por basuras	73
Tabla 14. Coordenadas geográficas y alturas de contaminación puntual por sitios de paso	73
Tabla 15. Coordenadas geográficas y alturas de contaminación puntual por ganadería	74
Tabla 16. Coordenadas geográficas y alturas de contaminación puntual por agricultura	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Taxonomía de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos encontrados en la quebrada Genoy – Guaico	104
Anexo B. Fotografías de géneros de macroinvertebrados acuáticos encontrados en la microcuenca Genoy – Guaico	106

GLOSARIO

AGUA POTABLE: aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos en la salud.

AGROQUÍMICOS: pesticidas y fertilizantes químicos, sustancias líquidas o gaseosas, en polvo o artificiales que son usados para proporcionar nutrientes, eliminar malezas, hongos, algas, microorganismos y gusanos del suelo.

BEBEDEROS: paraje donde acuden a beber las aves, el ganado y otros animales.

BIOINDICADORES: especies o comunidades de organismos, cuya presencia, comportamiento o estado fisiológico presenta una estrecha correlación con determinadas circunstancias del entorno.

CALIDAD DEL AGUA: definida como la composición química y por sus características físicas y biológicas, adquiridas a través de los procesos naturales y antropogénicos.

CONTAMINACIÓN: introducción por parte del ser humano de sustancias o energía en el medio acuático, que pueden producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos, deterioro de la calidad del agua para su utilización, etc.

ESTACIONES: lugares o sitios definidos para desarrollar un propósito.

EUTRÓFICO: aguas ricas en nutrientes y materia orgánica que sustentan un amplia población de organismos planctónicos. Aguas contaminadas.

IMPACTO: cambio o choque brusco que origina una huella o señal.

LIMNOLOGÍA: es el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la manera cómo estas son afectadas por el ambiente físico químico y biológico.

MESOTRÓFICO: Aguas que es solo moderadamente rica en nutrientes y materia orgánica. Aguas medianamente contaminadas.

MICROCUENCA: sistema abierto compuesto por un triángulo de interacciones cuyos vértices presentan tres sistemas: biofísico, social y económico; siendo su objetivo principal el proporcionar bienestar a la sociedad a partir de la producción de bienes y servicios.

MUESTREO: técnica de tomar muestras de una población de datos.

OLIGOTRÓFICO: aguas pobres en nutrientes y materia orgánica. Indican aguas limpias no contaminadas.

RESUMEN

El Corregimiento de Genoy se localiza en la zona centro occidental del municipio de Pasto al cual pertenece la quebrada Genoy – Guaico como parte de la subcuenca media del río Pasto con 2114.8 Hectáreas, conforma uno de los sistemas hídricos más grandes que nacen en el complejo volcánico Galeras. Actualmente esta fuente de agua abastece al acueducto de la vereda Castillo loma y a Genoy centro cabera principal del Corregimiento.

Siendo el principal interés la calidad de agua para uso potable para los beneficiarios a través de una evaluación limnológica utilizando parámetros físico-químicos y biológicos básicos para uso potable, se identificó un alto registro de coliformes totales y fecales y valores de CO₂ y color que superan los límites permitidos según la actual normatividad haciendo esta agua inadecuada para dicho fin. De acuerdo con los resultados arrojados por los índices bióticos y con la identificación de los bioindicadores acuáticos, se elaboró el actual mapa de calidad de agua designando aguas de buena calidad, catalogadas como aguas muy limpias a limpias, sin alteraciones graves para el ecosistema acuático.

Fue necesario conocer que zonas inmediatamente antes de la captación presentan focos que originan contaminación, emitiendo sugerencias para la protección y la posible recuperación de la calidad del agua, sin esperar a su total degradación que provoque la utilización de otra fuente hídrica y/o tratamientos para su potabilización con alto costo de inversión. Para tal fin, se establecieron en la quebrada tres estaciones de muestreo ubicadas entre los 2700 y 3200 m, durante los meses de febrero, abril y junio del año 2005 teniendo en cuenta la época de normal precipitación, mayor intensidad de lluvias y la ausencia de precipitación respectivamente. En cada estación se tomó tres muestreos para macroinvertebrados acuáticos y una muestra para cada parámetro físico-químico y microbiológico.

Existen dos áreas relevantes (agrícola y ganadera) y focos puntuales de contaminantes que contribuyen a los diferentes cambios que alteran el equilibrio natural del ecosistema de la microcuenca, que deben ser reducidos con las alternativas planteadas en el trabajo.

Palabras clave: contaminación, calidad de agua, macroinvertebrados, potable.

ABSTRACT

Genoy district is located at the western center zone of Pasto to which belongs the small river Genoy – Guaico as a part of the middle basin of Pasto river with 2114.8 hectares, it conforms one of the biggest hydric systems which borns in the Galeras volcanic complex. Nowadays, this water spring supplies the aqueduct of Castillo loma path and Genoy center which constitutes the main upper end of the small town.

The main interest to the beneficiaries is the quality of the water for the potable use drinkable, through the limnology evaluation using physico-chemical and biological basic parameters to the potable use it was identified a high register of total and fecales coliformers furthermore of CO₂ and the color which values overcome the allowed limits to the drinkable water according to the present patterns making for this purpose an inadequate water. According to the results of the biotic index and with the identification of the aquatic biodetectors, it was elaborated the present map of quality water designing waters belong to class I of good quality, classified as very clean to clean waters without grave alteration to the aquatic ecosystem.

So, it was necessary to know which zones immediately before capitation, present focus which originate pollution, emitted suggestions to the protection and possible recuperation of the water quality, without to expect to its total degradation that provoques the use of other hydric water spring and/o treatments to make potable or drinkable of high cost of investment. For that purpose, and on the little river, it was established three stations of pattern located between 2700 and 3200 m, during the months of january, april and june of 2005 year taking into account the normal precipitation epoch, greater intensity of rains and the absence of rash haste respectively. On each station it was taken three samples of aquatic macroinvertebrates and one sample for each physical-chemical and microbiological parameter.

There are two importants areas (agricultural and pertaining to cattle) and prompted focus of polluted that contribute to the different changes that alter the ecosystem natural equilibrium of the micro basin of a river, which must be reduced with the planned alternatives in the work.

Key words: contamination, quality of water, macroinvertebrates, drinkable.

INTRODUCCIÓN

Mundialmente la importancia ecológica, económica y social que tienen los cuerpos de agua para abastecer los acueductos es innegable, puesto que de la calidad de este recurso depende, en un alto porcentaje, la calidad de vida de sus habitantes. En los ecosistemas acuáticos la presencia de sustancias nocivas trae serias consecuencias para su funcionamiento y para la salud de las personas que tienen que consumir aguas contaminadas.¹ La contaminación altera el ciclo normal del agua, las sequías se expanden y los más perjudicados son los habitantes que viven de estos cuerpos hídricos.

Para Londoño², Colombia es un país privilegiado en recursos hídricos, es el cuarto país con mayores precipitaciones anuales y cuenta con reservas de agua lacustre y subterránea. Sin embargo, estos recursos se están afectando por la degradación de las cuencas hidrográficas, como efecto de la explotación energética, minera y turística, los modelos agrícolas implantados, el elevado crecimiento de las zonas urbanas, los bajos niveles de tratamiento de las aguas residuales y en general del abuso en el aprovechamiento del agua.

La microcuenca Genoy – Guaico, fuente principal de agua que surte el acueducto del corregimiento de Genoy (Nariño), no esta exenta de este tipo de problemática ambiental, Bedoya³ en sus estudio sobre el diagnostico de esta quebrada indica mala calidad en sus aguas por presentar descargas continuas de una serie de contaminantes relacionados con las actividades ganaderas, agrícolas y vertimientos de aguas residuales provenientes de asentamientos humanos cercanos, que afectan especialmente factores microbiológicos impidiendo utilizar esta fuente para consumo humano.

¹ GÓNGORA, Francisco. Inventario de la entomofauna acuática de la quebrada Padilla, fuente del acueducto de Honda (Tolima). En: Revista Colombiana de entomología. Colombia. Vol. IV, No. 4. (1994); p.123.

² LONDOÑO, Rubén. Contaminación del agua y estudio para su evaluación. En: Colombia sus gentes y sus regiones. Colombia. No. 12. (1998); p.247-250.

³ BEDOYA, Fernando. Cultura organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco y Buesaquillo del municipio de Pasto. En: CEDRE reportes de investigación. San Juan de Pasto. Vol. I, No 0. (2004); p.123.

Cabrera y Rojas⁴, en su investigación en el río Ingenio en el municipio de Sandona (Nariño), como principal fuente directa de suministro de agua potable para habitantes del sector urbano y algunas veredas, declara la importancia de la realización de la evaluación limnológica para establecer la calidad del agua, los diferentes grados de contaminación, sus causas y la determinación de recomendaciones correspondientes para el beneficio primordialmente de la comunidad implicada. Asprilla, Mosquera y Rivas⁵, en su estudio en el río Cabi (Quibdo – Choco) fuente hídrica que surte el acueducto de Quibdo, afirman la vital importancia de la determinación de la calidad del agua sobretodo si es para consumo humano y de tomar medidas enfocadas a evitar el daño de la intervención antrópica.

Con base en lo anterior, a través del estudio limnológico, utilizando parámetros biológicos, microbiológicos y físico-químicos, se logra identificar el estado actual de calidad de agua, fundamental para el conocimiento de la situación de la microcuenca, el debido uso y las condiciones de vida que ofrezca a sus beneficiarios.

Este trabajo se hizo con el objetivo de recolectar y analizar datos de parámetros físico-químicos, microbiológicos y biológicos que permitieron identificar las zonas más críticas de contaminación a lo largo de la microcuenca y sugerir a las entidades encargadas y a la comunidad alternativas para la protección y recuperación de la calidad de agua a corto y mediano plazo, pretendiendo ser esta investigación una herramienta que permita el manejo sostenible de este recurso.

Para alcanzar dicho propósito fue necesaria la sectorización de la quebrada en tres zonas (alta, media y baja), evaluando las condiciones físico-químicas del agua, los parámetros que no estuvieron dentro de los valores de normalidad para agua de consumo humano fue el color (48UCP) y el CO₂ (11mg/l) en las estaciones II y III, relacionados con la presencia y descomposición de sustancias orgánicas disueltas en la corriente. Dentro de los factores microbiológicos los coliformes totales y fecales presentan un alto registro con valores de (405UFC) en la estación II y (138UFC) en la estación III respectivamente, debido a diferentes

⁴ CABRERA, Cristina y ROJAS Carmen. Estudio de la variación de la calidad del agua del río el Ingenio municipio de Sandona mediante parámetros fisicoquímicos biológicos y bacteriológicos. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2004); p.5.

⁵ ASPRILLA, Sonia. MOSQUERA, Zuleyma y RIVAS, Marlenis. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad ecológica del agua en la parte media del río Cabi (Quibdo - Choco). Universidad Tecnológica del Choco. En: Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas. Quindío. Colombia. Vol. 18, (2006); p.44.

acciones antrópicas y a las bacterias fecales presentes permanentemente en la flora intestinal del hombre y de los animales de sangre caliente.⁶

En cuanto a macroinvertebrados acuáticos se capturaron 10.661 individuos. El mapa de calidad de agua elaborado a través del índice biótico BMWP usando los macroinvertebrados como bioindicadores, señala que el agua en la zona de estudio (2700 a 3200 m) denota aguas muy limpias a limpias. Se identificó las fuentes de contaminación de tipo puntual que fueron las basuras y sitios de paso, que afectan a zonas muy localizadas y los difusos como la ganadería y agricultura, que provocan contaminación dispersa en zonas amplias en las que no es fácil identificar un foco principal contribuyendo de esta manera al deterioro de calidad del agua de la microcuenca.

⁶ ROMERO, Jairo. Calidad del agua. Escuela Colombiana de ingeniería. Santa Fe de Bogotá. Colombia. (2002); p.174.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las áreas de mayor contaminación de la microcuenca, mediante observación, registro y análisis de parámetros físico-químicos y biológicos que intervienen en la calidad del agua para uso potable, estableciendo sugerencias para la protección y recuperación de dichas zonas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar la calidad del agua a través de indicadores físico-químicos y biológicos básicos para uso potable.
2. Realizar el mapa actual de calidad del agua para la microcuenca con base en el índice BMWP.
3. Identificar las principales causas de contaminación en los puntos críticos encontrados.
4. Formular las respectivas sugerencias o alternativas, que contribuyan en la protección y recuperación de la calidad del agua.

2. JUSTIFICACIÓN

La poca información existente de esta microcuenca, la falta de una adecuada educación a la comunidad y el inadecuado manejo de los ecosistemas acuáticos del sector en estudio, son aspectos que conllevan a una alteración de los recursos naturales donde, muchas veces la intervención humana desmedida contribuye al deterioro ecológico a través de los años, convirtiéndose esto en una situación crítica tanto para el medio ambiente, como para los beneficiarios de este.

El recurso hídrico de esta región hoy es motivo de estudio, la mala calidad y cantidad de agua de la microcuenca Genoy- Guaico como principal afluente del corregimiento de Genoy, es un serio problema que nos compromete a todos si queremos que en un futuro este recurso aun exista.

Dentro del recurso hídrico se encuentran algunas bacterias patógenas vectoras de enfermedades, que sobreviven al caer en el agua y son transportadas, usando este liquido como vehículo. En las llamadas “enfermedades causadas por el agua” se halla la fiebre tifoidea, la desinteria, el cólera, y algunos tipos de padecimientos diarreicos conocidos como gastroenteritis.⁷ Existen datos de enfermedad relacionados con el agua;⁸ donde se identifica la presencia de cada uno de estos casos con repetidas apariciones, en personas afectadas en el corregimiento de Genoy de acuerdo al sexo (femenino-masculino) y a la edad (1 a 60 años) de la siguiente manera:

Enfermedad por consulta externa y urgencias según el sexo. Se presentan enfermedades en los dos sexos de parasitosis intestinal, infección intestinal y otitis media con (801), (133) y (54) número de casos respectivamente.

Enfermedad por consulta externa según grupos de edad. De 1 a 60 años se registraron casos de parásitos intestinales, trastornos gástricos e infección intestinal con (775), (269) y (92) repeticiones respectivamente.

⁷ HILLEBOE, Herman. Manual de tratamiento de aguas. Departamento de sanidad del estado de Nueva York, Albany. Editores Noriega. México DF. (1991); P.117-119.

⁸ ALCALDÍA MUNICIPAL. Dirección municipal de seguridad social en salud. San Juan de Pasto Colombia. (2002).

La presencia de estos organismos en la quebrada Genoy-Guaico provoca una contaminación, haciendo impropia e insegura para consumo humano el agua de la quebrada. Es por ello que este cauce se ha convertido en un punto de interés particular por ser el principal afluente hídrico que abastece el acueducto del corregimiento de Genoy, beneficiándose de una manera integral del ella primordialmente para el uso potable; surgiendo así la necesidad de la realización de este estudio a través de análisis limnológicos, que permitieron identificar las zonas con mayor contaminación, brindando algunas sugerencias que oportunamente puedan proteger y recuperar si es posible dichas zonas, sin esperar a la degradación total del agua favoreciendo de esta manera las condiciones de vida de los habitantes de la región, la calidad cuerpo de agua y el adecuado manejo sostenible de su entorno ambiental.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 ANTECEDENTES

Según Romero⁹, para cada país en el mundo el uso benéfico más importante del agua es el de consumo humano, donde se deben establecer y exigir el cumplimiento de normas para que sea segura y potable. Con la interpretación de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos referidos particularmente al grupo de coliformes totales y fecales, se determina la calidad de una fuente hídrica, por tal razón son indispensables las investigaciones para tal fin.

Estudios limnológicos como el realizado por Zúñiga de Cardoso, Hernández y Caicedo¹⁰, donde evalúan la calidad del agua de la cuenca del río Cauca y sus principales tributarios mediante los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en función de índices de calidad de agua para hacer comparaciones entre zonas y cuerpos de agua con diferentes grados de deterioro ambiental. Resaltan órdenes típicos de aguas limpias como *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* a diferencia de los de baja calidad como *Diptera*, *Oligochaeta* e *Hirudinea*.

Vergara y Góngora¹¹, determinan la calidad del agua la quebrada Padilla, fuente del acueducto de Honda (Tolima), ubicando cinco estaciones de muestreo para recolección de entomofauna obteniendo 32 familias, 26 géneros y 36 especies. Los índices bióticos y de diversidad con valores promedio de 1.92 y 3.36 respectivamente permiten establecer que este cuerpo de agua esta dentro de la categoría de aguas buenas y claras.

Roldan y Machado¹², llevan acabo un estudio limnológico en el río Anori (Antioquia) y sus principales afluentes. Realizaron estudios fisicoquímicos del agua y determinan la estructura de la comunidad béntica. Los factores abióticos más estables encontrados fueron la temperatura, el oxígeno y el pH, todas las

⁹ ROMERO, Jairo. Calidad del agua. (2002); Op. cit., p.318.

¹⁰ ZÚÑIGA de Cardoso, HERNÁNDEZ, Ángela y CAICEDO, Guadalupe. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. En: AINSA. Medellín. Antioquia. Vol. XIII, No. 2. (1993); p.17-27.

¹¹ VERGARA, Rodrigo y GÓNGORA, Francisco. Inventario de la entomofauna acuática de la quebrada Padilla, fuente del acueducto de Honda (Tolima). En: Revista colombiana de entomología. Vol. 20, No. 2. (1994); p.115-123.

¹² ROLDAN, Gabriel y MACHADO, T. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anori y sus principales afluentes. En: Actualidades biológicas. Medellín. Antioquia. Vol. 10, No. 35. (1981); p.3-19.

estaciones de muestreo mostraron una alta diversidad biológica reportando un total de 43 familias y 82 especies de macroinvertebrados. Concluyeron que esta fuente aun no presenta perturbaciones ecológicas.

Ramírez, Correa y Velásquez¹³, en su estudio limnológico de la represa del Peñol (Antioquia), analizan parámetros fisicoquímicos, fitoplancton, zooplancton, bentos y malezas acuáticas, mostrando que la represa presenta un estado de eutroficación moderado y una población característica de algas de aguas claras. Agregan que las fuentes de aguas negras que llegan a la represa y la actividad agrícola que se lleva a cabo en sus alrededores podrían a corto plazo causar problemas graves de eutroficación.

Núñez¹⁴, en su estudio de Pozo azul (cuenca del río Gaira, Colombia), se analizan algunos parámetros fisicoquímicos y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos asociados a cuatro sustratos (piedra, hojarasca, sedimento y macrofitas), se resalta que el agua de esta fuente esta saturada de oxígeno, el índice BMWP establece para este caso un agua de optima calidad y oligosaprobita.

Palacios¹⁵, estudia las comunidades de macroinvertebrados presentes en la quebrada la Bendición, ubicada en el municipio de (Choco - Colombia), con el fin de evaluar la diversidad de organismos y posteriormente determinar la calidad del agua de dicha microcuenca. Mediante los índices biológicos aplicados se pudo determinar que la quebrada presenta aguas de buena calidad, no contaminadas o no alteradas de modo sensible.

Ardila y Bohórquez¹⁶, en su trabajo en los afluentes de Barandillas y río Frío en la zona media del río Bogotá con dos estaciones de muestreo en cada uno de ellos, contribuyen al estudio de la bioindicación con macroinvertebrados bentónicos y la evaluación de calidad de agua. Los resultados de calidad de agua de estos cuerpos hídricos se encuentran entre moderadamente contaminados a hasta altamente contaminados.

¹³ RAMÍREZ, Jhon, CORREA, Margarita y VELÁSQUEZ, Luís. Estudio limnológico de la represa del Peñol. En: Actualidades biológicas. Medellín. Antioquia. Vol. 13, No. 50. (1984); p.94-105.

¹⁴ NÚÑEZ, Norbelis. Los macroinvertebrados de pozo azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. En: Acta biológica colombiana. Vol. 8, No. 2. (2003); p.43-55.

¹⁵ PALACIOS, Jhon Arley. Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Bendición, municipio de Quibdo (Choco, Colombia). En: Acta biológica colombiana. Vol. 8, No. 2. (2003); p.23-31.

¹⁶ BOHÓRQUEZ, Amparo y ARDILA, Jorge. Estudio de calidad de aguas en cuatro estaciones localizadas en los ríos Barandillas y Frío afluentes del río Bogotá. En: Revista científica de UNINCCA. Vol. 3, No. 1. (1997); p.14-27.

Asprilla, Mosquera y Rivas¹⁷, en su estudio limnológico en la parte media del río cabí (Quibdo - Choco), cuyo objetivo fue establecer la calidad ecológica de las aguas por medio de índices bióticos, determinan la comunidad de macroinvertebrados conformados por 3 clases, 10 órdenes, distribuidos en 27 familias y 40 géneros, destacándose la poca variación de las variables tanto climáticas como fisicoquímicas. Las aguas de este río presentan buenas condiciones de calidad ecológica.

Matthias y Moreno¹⁸ en su investigación en el río Medellín a partir de su nacimiento hasta antes de su desembocadura elijen ocho estaciones de muestreo, donde se determinan parámetros fisicoquímicos, toman muestras bénticas con el fin de medir la calidad biológica del agua por medio del índice de diversidad propuesto por Shannon (1948). Concluyen que la situación del río continúa en un alto proceso de deterioro de sus aguas.

Roldan, Posada y Gutiérrez¹⁹, en su estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras blancas en el departamento de Antioquia, donde se analiza la calidad de agua del recurso mediante los parámetros fisicoquímicos, macroinvertebrados, perifiton, plantas acuáticas y peces de la región, identificando valores óptimos en el oxígeno y el pH denotando alta estabilidad en el ecosistema acuático y se afirma que las corrientes de la quebrada se encuentran en buen estado ecológico requiriendo de unos pequeños correctivos para recuperar su estado optimo.

Benavides, Ramos y Riascos²⁰, llevan a cabo un estudio en la parte alta de la microcuenca del río Bobo, siendo el propósito fundamental analizar parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos, estructura de la comunidad bentónica, parámetros morfométricos y la identificación de algunas especies vegetales nativas, tanto para el ordenamiento de la cuenca, como para el uso potencial de estas aguas para el consumo humano. Los resultados obtenidos indican aguas moderadamente contaminadas. La mayoría de los parámetros se encuentran dentro de los límites

¹⁷ ASPRILLA, Sonia. MOSQUERA, Zuleyma y RIVAS, Marlenis. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad ecológica del agua en la parte media del río Cabi (Quibdo - Choco). (2006); Op. cit., p.43-50.

¹⁸ MATTHIAS, Uwe y MORENO, Humberto. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos en el río Medellín y sus principales afluentes. En: Actualidades biológicas. Medellín. Antioquia. Vol. 12, No. 46. (1983); p.106-116.

¹⁹ ROLDAN, Gabriel. POSADA, José Andrés, y GUTIÉRREZ, Juan Carlos. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de piedras blancas. Bogotá. Colombia. (2001); p.4-5.

²⁰ BENAVIDES, Nelly. RAMOS, Luz Alba y RIASCOS, Lucila. Análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y de macroinvertebrados de los principales afluentes del río Bobo. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (1993); p.1-4-.

normales, a excepción del hierro que origina una coloración amarillenta característica de estas aguas.

Cabrera y Rojas²¹, evalúan la calidad del agua del río Ingenio en cuatro estaciones de muestreo, con base en la presencia de macroinvertebrados acuáticos, medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos desde su nacimiento hasta su desembocadura. Los parámetros de CO₂ y OD, sólidos disueltos, nitritos, sulfatos, fosfatos, DBO₅ y DQO, están por encima de lo permitido en la estación III y IV. Se encontraron 2778 organismos representados en 12 órdenes, 24 familias y 34 géneros. Los análisis microbiológicos reportan en la estación III y IV la presencia de coliformes fecales. Se concluye que el río Ingenio presenta aguas de buena calidad en las estaciones I y II, de regular en la estación III y de muy contaminada en la estación IV.

Quintero²², realiza una caracterización limnológica a través de parámetros físico químicos y microbiológicos en la quebrada Piacum (Pupiales – Nariño). Utiliza los macroinvertebrados como bioindicadores para la realización del mapa de calidad de las aguas y en sus resultados resalta la presencia de *E. coli* y coliformes totales. Recomienda un plan de conservación para la protección de la microcuenca en estudio.

Yaqueno y Argothy²³, determinaron el estado de la microcuenca la Tebaida situada al sur oriente del municipio de Chachagüí - Nariño. Los resultados muestran que la mayor parte de las áreas de la microcuenca están destinadas a pastos naturales con el 72.9%, bosques naturales 19.7% y cultivos con 7.38% del área total. Los muestreos limnológicos mostraron a la familia *Tipulidae* y el género *Anacroneuria* como los más abundantes, los índices bióticos para determinar la calidad de agua revelan una buena calidad. Los parámetros fisicoquímicos cumplen con los valores admisibles para agua de consumo humano excepto de los fosfatos y turbiedad así mismo la presencia de coliformes totales y fecales.

²¹ CABRERA, Cristina y ROJAS Carmen. Estudio de la variación de la calidad del agua del río el Ingenio municipio de Sandona mediante parámetros fisicoquímicos biológicos y bacteriológicos. (2004); Op. cit., p.3.

²² QUINTERO, Milena. Caracterización limnológica de la quebrada Piacum (Pupiales-Nariño) mediante parámetros físicos-químicos y biológicos. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2005); p.26.

²³ YAQUENO, Francisco y ARGOTHY, Miguel. Estado del componente hídrico, cobertura vegetal y usos del suelo de la microcuenca alta del río Salado (quebrada la Tebaida en el municipio de Chachagüí- Nariño). Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2005); p.18.

Castillo, Bacca e Hidalgo²⁴, realizan una evaluación biótica del río Pasto desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Juanambu, estableciéndose seis estaciones de muestreo dependiendo del grado de contaminación. Para cada estación se realizan las mediciones fisicoquímicas resaltándose el parámetro de oxígeno disuelto, el cual tiende a disminuir desde la estación uno hacia la cuatro con un leve incremento en la estación seis. De acuerdo con el índice BMWP, las estaciones de la uno a la seis se categorizan en el mismo orden como oligomesotróficas, mesotróficas, eutróficas, politróficas, mesoeutróficas y mesotróficas.

De acuerdo con la Alcaldía municipal²⁵, se cuenta con registros de enfermedades relacionadas con la calidad del agua, donde se logra identificar la presencia de cada uno de estos casos, con repetidas apariciones según el sexo (femenino - masculino) y la edad (1 a 60 años), de personas afectadas en el corregimiento de Genoy de la siguiente manera:

Tabla 1. Morbilidad o enfermedad por consulta externa y urgencias según el sexo.

Morbilidad	Numero de casos sexo femenino	Numero de casos sexo masculino
Parasitosis Intestinal	426	375
Infección Intestinal	66	67
Otitis Media	23	31
Infecciosas- Parasitarias	3	1
Amibiasis	1	1
Trastornos Gástricos	7	3

²⁴ CASTILLO, Guillermo. BACCA, Tito e HIDALGO, Arsenio. Variación de macroinvertebrados acuáticos (índice BMWP) según la calidad del agua en zonas de contaminación y recuperación, en el río Pasto. En: Ponencias XXXVII congreso nacional de ciencias biológicas. Universidad de Nariño. Colombia. (2002); p.264.

²⁵ ALCALDÍA MUNICIPAL. Dirección municipal de seguridad social en salud. San Juan de Pasto. Colombia. (2002).

Tabla 2. Morbilidad o enfermedad por consulta externa según grupos de edad.

Morbilidad	1-4 años	1-14 años	15-44 años	45-49 años	60...años
Parásitos Intestinales	178	301	256	24	16
Trastornos Gástricos	1	13	194	35	26
Infección Intestinal	49	17	24	1	1
Gastroduodenitis	15	12	18	1	1
Otitis Media	0	0	3	0	1

Bedoya²⁶, en su estudio de ordenamiento y manejo de la microcuenca Genoy – Guaico, indica resultados de presencia de coliformes totales en la estación I con valores máximos de 42 UFC, igualmente la presencia de bacterias fecales a medida que se desciende en el cauce hacia las estaciones II y III con el valor máximo de 17 UFC. De acuerdo con la legislación colombiana para agua potable, al no cumplir con los aspectos requeridos en los análisis microbiológicos el agua de esta fuente, recomienda un pretratamiento antes de ser ingerida directamente por sus habitantes.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

En Colombia, se ha hecho imprescindible la necesidad de realizar varios programas de manejo ambiental de las principales microcuencas abastecedoras de agua, originando un aprovechamiento racional y armónico de los recursos naturales por parte de el hombre imponiéndose como principales medidas el control en la productividad y calidad del agua.

El recurso hídrico es de vital importancia desde tiempos remotos; es así como el hombre primitivo busco asentar su población a orillas de este precioso líquido y todas las civilizaciones a través del tiempo adquieren cada día mayor dependencia de éste. En la actualidad el factor primordial en la planeación de un proyecto de cualquier índole es el abastecimiento de agua de buena calidad.

Aun así, el hombre se ha encargado de degradar las microcuencas no solo por necesidad sino también por ignorancia, haciendo uso de practicas desfavorables como la tala y quema de bosques, la contaminación de las aguas con diferentes tipos de materiales y residuos, el uso en forma errónea el suelo, la intervención del hábitat y los recursos de existencia de la fauna, la aplicación de agroquímicos en forma excesiva, la incorporación de especies forestales de baja productividad y alto impacto ambiental y el incremento de la explotación de recursos naturales sin

²⁶ BEDOYA, Fernando. Cultura organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco y Buesaquillo del Municipio de Pasto. (2004); Op. cit., p.59-60.

tener en cuenta su agotamiento progresivo etc.,²⁷ provocando de esta manera la alteración de la cantidad y principalmente la calidad del agua de las microcuencas originando efectos negativos y de alta gravedad como la pérdida de productividad del suelo, la contaminación de las fuentes de agua esenciales para el abastecimiento de acueductos, erosión y pobreza de sus habitantes, entre otros.

Acerca del agua dulce de los ríos, es preciso tener en cuenta que presenta una enorme variedad de composición. Como esta composición química depende, en primer lugar, de lo que el agua pueda disolver del suelo por el que discurre, o de los lugares a donde se dirige, es el suelo lo que determina la composición química del agua. Si el suelo es pobre en sales y minerales solubles, también el agua será pobre en sales y minerales, y viceversa.²⁸

Eso es determinante para los tipos de vida animal y vegetal que allí se pueda desarrollar. Las principales adaptaciones de los organismos que viven en este medio acuático, estarán directamente relacionadas con las características físicas del agua, con la que están permanentemente en contacto.

Dentro de este ecosistema donde interactúan de manera continua factores bióticos y abióticos, Sánchez y Perea²⁹ plantean que la composición del conjunto biológico de las corrientes responde al marco de condiciones ambientales predominantes; por lo que las fracciones más abundantes son las que pueden adecuarse a influencias como la velocidad de la corriente, la turbulencia, el tipo de sustrato, los aportes de materiales en el agua y los fenómenos debidos al estado y manejo de la cuenca hidrográfica.

3.2.1 Microcuenca hidrográfica. Para Cabrera y Revelo³⁰, La microcuenca es el área geográfica mínima en la cual el agua se desplaza a través de drenajes con una salida principal llamada nacimiento o desagüe. Se define en términos generales una microcuenca como el primer componente del sistema de acueducto, de allí es de donde se obtiene el agua que surte a todas las viviendas. Es decir que la microcuenca es la fuente de abastecimiento de agua en una región.

²⁷ JIMÉNEZ, Amparo. Declaratoria de impacto ambiental en las aguas superficiales de la microcuenca del río Mijitayo. Especialización en ecología. Escuela de postgrado. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia. (1989); 118p.

²⁸ WIKIPEDIA. El ecosistema acuático. Ciencias de la tierra. España. p.1-2.

²⁹ SÁNCHEZ, Mario y PEREA, Jairo. Estudio de calidad del agua y relaciones ecológicas en quebradas del sur del Huila. Universidad Sur colombiana. Huila. (1989); p.131.

³⁰ CABRERA, C y REVELO, Y. Alternativas de aprovechamiento del agua después de la captación, de la Quebrada Genoy Guaico Corregimiento de Genoy del Municipio de Pasto. Universidad Mariana. San Juan de Pasto. (2005); p.25.

3.2.2 Calidad del agua. De acuerdo con el IDEAM³¹, la calidad del agua esta definida por su composición química y por sus características físicas, adquiridas a través de los diferentes procesos naturales y antropogénicos. Estos implican contacto y disolución de los componentes minerales de las rocas sobre las cuales el agua, en sus diferentes estados de agregación –sólido, líquido y gaseoso-, actúa como agente meteorizante, además de intervenir como disolvente de los gases presentes en la atmósfera.

Roldan³², menciona que la evaluación de la calidad del agua se ha realizado tradicionalmente basada en los análisis físico-químicos y bacteriológicos, sin embargo, en los últimos años muchos países han aceptado la inclusión de las comunidades acuáticas como un hecho fundamental para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos.

Al evaluar la calidad de las aguas mediante el estudio de la composición y estructura de comunidades de organismos surge el término de calidad biológica. Se considera que un medio acuático presenta una buena calidad biológica, cuando tiene unas características naturales que permiten que en su seno se desarrollen las comunidades de organismos que les son propias³³.

3.2.3 Contaminación del agua. Para el IDEAM³⁴ la definición de la contaminación del ambiente acuático es la introducción por el hombre, directa e indirectamente, de sustancias o energía con resultados negativos o deletéreos que producen una serie de consecuencias como peligro para los recursos vivos, amenazas para la salud pública, perturbación de las actividades acuáticas incluyendo la pesca, disminución o impacto de la calidad de agua con respecto a su uso en actividades industriales, agrícolas y actividades económicas y la reducción de las actividades recreacionales y de estética del paisaje.

Roldan³⁵ menciona que los contaminantes sean orgánicos o inorgánicos provocan en los ecosistemas acuáticos una serie de modificaciones fisicoquímicas en el

³¹ IDEAM. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. El medio ambiente en Colombia. Calidad del recurso hídrico. Colombia. (2001); p.1.

³² ROLDAN, Gabriel. Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. Universidad de Antioquia. Medellín. (1992); p.12.

³³ ALBA-TERCEDOR, Javier. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. En: Almería. Vol. 2 (1996); p.205.

³⁴ IDEAM. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. El medio ambiente en Colombia. Calidad del recurso hídrico. (2001); Op. cit., p.6.

³⁵ ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de limnología neotropical. (1992); Op.cit., p.452-453.

agua, que repercuten en la composición y distribución de las comunidades. La desaparición de especies en un ecosistema significa la pérdida de eslabones en la trama alimenticia, lo que trae como consecuencia el aumento en número de algunas poblaciones, bien sea por falta de depredadores, por la disponibilidad de más alimento o por una combinación de ambos. El resultado es una simplificación de las comunidades, con un aumento de individuos en las poblaciones que han tenido la capacidad de “adaptarse” o “sobrevivir” en las nuevas condiciones.

3.2.4 Fuentes puntuales y difusas de contaminación. Para Hannan y Leece³⁶, las fuentes puntuales son efluentes de descarga a través de un conducto, siendo la fuente fácilmente identificada. La constituyen industrias, plantas de agua residual, que se caracterizan por ser fuentes de fácil control ya que las aguas pueden ser tratadas para remover los contaminantes antes de la descarga en los cuerpos de agua.

Las fuentes difusas son las áreas dedicadas a la agricultura, ganadería y zonas urbanizadas, etc., que drenan hacia las corrientes de agua aportando carga de diversos contaminantes que son menos posibles de controlar, debido a que el tratamiento que remueve estos contaminantes es raramente practicable. Las fuentes de este tipo de contaminación no son siempre fáciles de detectar, y con el tiempo puede ir intensificándose lenta e inexorablemente hasta cubrir grandes extensiones. Los principales problemas en los acuíferos a nivel mundial están probablemente relacionados con la contaminación de tipo difuso, entre sus causas más importantes esta el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura.³⁷

3.2.5 Agua potable y salud humana. Para el Ministerio de salud según el decreto 475 (1998)³⁸, se entiende por agua potable aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el presente decreto puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

Debido al importante papel que cumple el agua en la vida humana, si se encuentra contaminada, se convierte en un medio que origina una amplia gama de enfermedades y riesgos para la salud, afectando también la economía, el medio ambiente y la calidad de vida de la población. En la actualidad se hacen cada vez más evidente el surgimiento de diferentes enfermedades relacionadas con la mala

³⁶ HANNAN y LEECE, citado por MADROÑERO, S. Manejo del recurso hídrico y estrategias para su gestión integral en la microcuenca Mijitayo, Pasto Colombia. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza CATIE. Turrialba. Costa Rica. (2006); p.53.

³⁷ DOUROJEANNI, A. citado por MADROÑERO, S. Manejo del recurso hídrico y estrategias para su gestión integral en la microcuenca Mijitayo, Pasto Colombia. (2006); Op.cit., p.111.

³⁸ MINISTERIO DE SALUD. Decreto No 475 del 10 de Marzo. Colombia. (1998); p.1.

calidad del agua, por varios contaminantes de origen natural o producidos por el hombre influyendo gravemente en la salud de quienes consumen este líquido.

Bradley³⁹, indica a continuación un sistema de clasificación de las enfermedades relacionadas con el agua, las diferentes formas de infección y sus rutas de transmisión.

Tabla 3. Principales enfermedades relacionadas con el agua

Enfermedad	Tipo de relación con el agua
Cólera Hepatitis infecciosa Leptospirosis Paratifoidea Tularemia Tifoidea	Transmitida por el agua
Disentería amibiana Desinteria bacilar Gastroenteritis	Por el agua o por el agua para aseo personal
Áscariasis Conjuntivitis Enfermedades diarreicas Lepra Sarna Sepsis y ulcera de la piel Tracoma	Por el agua para aseo
Gusano de guinea Esquistosomiasis	Desarrolladas en el agua
Paludismo Oncocercosis Enfermedad del sueño Fiebre amarilla	Insectos vectores relacionados con el agua

³⁹ BRADLEY, citado por TEBBUTT, H. Fundamentos de control de la calidad del agua. Universidad de Birmingham. México. (1997); p.56.

3.2.6 Parámetros para evaluación de calidad del agua. La evaluación de la calidad del agua se ha definido dentro de la selección de los parámetros acordes que pueden fijar sus características, dependiendo básicamente de los objetivos relacionados con su uso. La selección apropiada de los parámetros permite alcanzar las metas de eficiencia en los procesos de mejoramiento de la calidad del agua.

En este caso específico, la selección de parámetros físico-químicos y microbiológicos están de acuerdo al uso potable, éstos se relacionan conforme con los parámetros afectados (turbiedad - microbiológicos) según el estudio realizado por Bedoya⁴⁰, para tal fin fue necesaria la toma de parámetros como turbiedad, temperatura, color, olor, conductividad, sólidos totales, caudal, OD, CO₂, coliformes totales y coliformes fecales.

3.2.6.1 Parámetros físicos.

3.2.6.1.1 Turbiedad. Es un término que se usa para describir el grado de opacidad del agua producida por las partículas en suspensión que interfieren en el paso de luz a través del agua y en consecuencia regula sus procesos biológicos. La turbiedad en el agua puede causarla partículas de arcilla, limo, descarga de agua residual, desechos industriales o la presencia de numerosos microorganismos.⁴¹

3.2.6.1.2 Temperatura. La solubilidad del oxígeno en el agua aumenta a medida que disminuye la temperatura.⁴² La temperatura determina la densidad, viscosidad y movimiento del agua, siendo muy importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos.

3.2.6.1.3 Color. El color visible del agua es el resultado de diferentes longitudes de onda de la luz no absorbidas por el agua y que tienen que ver con las sustancias presentes. Para Salazar⁴³, en general puede decirse que la mayor parte de los colorantes que afectan habitualmente el agua se producen por el fitoplancton, clorofíceas, etc., le confieren un color verdoso, los residuos humanos (aguas residuales) le confieren un color gris a negro según su grado de alteración,

⁴⁰ BEDOYA, Fernando. Cultura organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco y Buesaquillo del Municipio de Pasto. (2004); Op. cit., p.53-60.

⁴¹ RODIER, J. Análisis de aguas: aguas naturales, aguas residuales y aguas de mar. Barcelona. España. (1981); p.128-131.

⁴² ROLDAN, Fundamentos de limnología neotropical. (1992). Op. citp. p.227.

⁴³ SALAZAR, ROBERTO. Teoría y diseño de los tratamientos de aguas residuales. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2002); p.17.

los desechos industriales pueden conferir a las aguas una gran diversidad de colores, el color rojizo provocado por el ion Fe, el color negro producido por el ion Mn, el color azulado que le confiere el ácido sulfhídrico y material no vivo o tripton (organismos muertos, detritos y sustancias coloidales).

3.2.6.1.4 Olor. El olor del agua es el resultado de la presencia de compuestos orgánicos volátiles y pueden ser producidos por fitoplancton y plantas acuáticas en proceso de descomposición, esta íntimamente relacionado con el sabor de tal manera que ninguna materia olorosa esta exenta de sabor. Según Salazar⁴⁴, algunas causas que producen olores se deben a compuestos químicos como los fenoles o el cloro, materia orgánica en descomposición, y esencias liberadas en pequeñísimas cantidades por organismos vivos (algas, hongos, etc.).

3.2.6.1.5 Conductividad. Esta medida indica la facilidad con que la corriente eléctrica pasa a través del agua. La conductividad informa sobre la posibilidad de usar el agua para riegos ya que muchas plantas son sensibles al contenido de sales disueltas y la exposición del terreno a riegos prolongados con aguas muy conductoras pueden dar lugar a su inutilización como terreno de cultivo.

Roldan⁴⁵, afirma que a través de la conductividad se puede conocer en un ecosistema la magnitud de la concentración iónica (calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, cloruros y sulfatos), la productividad primaria y descomposición de materia orgánica, la detección de fuentes de contaminación y la naturaleza geoquímica del terreno.

3.2.6.1.6 Sólidos Totales (ST). Estos se originan de la erosión de los suelos logrando la turbidez del agua y la disminución de la actividad fotosintética, causando daños en las branquias y agallas de los organismos acuáticos. Representan la calidad total de los sólidos contenidos en el agua residual, incluyen por lo tanto materia flotante, materia en suspensión, materia en dispersión coloidal y materia en disolución.⁴⁶

3.2.6.1.7 Caudal. Para Verweij⁴⁷, esta definido como la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. El caudal varía de acuerdo con la profundidad y ancho del cauce y es lógico que una disminución puede influir en

⁴⁴ Ibid. p. 19-20.

⁴⁵ ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de limnología neotropical. (1992); Op. cit., p. 274.

⁴⁶ SALAZAR, Roberto. Teoría y diseño de los tratamientos de aguas residuales. (2002); Op. cit., p.34.

⁴⁷ VERWEIJ, Michiel. A propósito del caudal ecológico. Bolivia. p.2.

la población de flora y fauna que vive o dependen de ello. Margalef⁴⁸, establece que la estructura del caudal y la turbulencia en todo el sector del cauce es esencial para la vida de los organismos, y a su vez la estructura de la turbulencia depende de la disposición de la vegetación en el cauce.

3.2.6.2 Parámetros químicos.

3.2.6.2.1 Oxígeno Disuelto (OD). Es el oxígeno que está disuelto en el agua. Esto se logra por difusión del aire del entorno, la aireación del agua que ha caído sobre saltos o rápidos, y como un producto de desecho de la fotosíntesis, como esta actividad fotosintética es mayor en las capas superiores bien iluminadas, su concentración será mayor a este nivel. En los niveles próximos al fondo, su concentración es mínima debido a los procesos de oxidación de la materia orgánica.⁴⁹ La cantidad de oxígeno no necesariamente indica la calidad del agua ya que la temperatura influye en la solubilidad de este, razón por la cual es mejor expresar el valor de este parámetro en términos de porcentaje de saturación.⁵⁰

3.2.6.2.2 Dióxido de carbono (CO₂). Es soluble en el agua y se absorbe a través de la interfase aire-agua, adicionalmente se produce dentro de los cuerpos de agua por la respiración de la biota acuática en procesos aeróbicos por descomposición heterótrofa de la materia orgánica suspendida y sedimentada. La naturaleza del sustrato también puede causar variaciones considerables.⁵¹

3.2.6.3 Indicadores biológicos

3.2.6.3.1 Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua. El estudio de los macroinvertebrados de aguas continentales, comprende todos aquellos organismos que se pueden observar a simple vista, estos viven sobre el fondo de ríos y lagos, o enterrados en el fango y la arena; adheridos a rocas, o nadando activamente dentro del agua o sobre la superficie de la misma.⁵² La gran mayoría de los mismos (alrededor del 80%) corresponden a grupos de artrópodos,

⁴⁸ MARGALEF, Ramón. Limnología. Edición omega. Barcelona. (1983); p.25.

⁴⁹ FERRERO, JM. Depuración biológica del agua. Editorial Alambra. (1974); p.87-88.

⁵⁰ ROJAS, CH. Análisis físico-químico de aguas en métodos normalizados. Programa nacional de calidad de aguas. Universidad del Valle. Santiago de Cali. (1988); p.97.

⁵¹ ROLDAN, Gabriel. Manual de limnología guía teórico-practico. Universidad de Antioquia. Medellín. (1987); p.129.

⁵² ROLDAN, Gabriel. Guía para el estudio de los Macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Medellín. (1996); p.1.

y dentro de estos los insectos, y en especial sus formas larvianas, son las más abundantes.⁵³

Las respuestas de las comunidades acuáticas a las perturbaciones ambientales son útiles para evaluar el impacto de los distintos tipos de contaminación, residuos municipales, agrícolas, industriales e impactos de otros usos del suelo sobre los cursos de aguas superficiales.⁵⁴

3.2.6.3.2 Características de un buen indicador. Para Roldan⁵⁵, estos animales se consideran indicadores biológicos porque son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar, son sedentarios en su mayoría y por lo tanto, reflejan las condiciones locales, relativamente fáciles de identificar, si se compara con otros grupos menores, integran los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo, poseen ciclos de vida largos, son apreciables a simple vista, se pueden cultivar en laboratorio, responden rápidamente a los tensores ambientales y varían poco genéticamente.⁵⁶

Para Jaramillo⁵⁷, las ventajas de la utilización de los indicadores biológicos se centran especialmente en la integración que se produce cuando son usados adecuadamente. Las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis fisicoquímicos no detectan, permiten localizar la aparición de nuevos contaminantes y la selección de algunas especies indicadoras, simplifica y reduce los costos de la valoración sobre el estado del ecosistema.

3.2.6.4. Análisis bacteriológico del agua. La elaboración de los análisis bacteriológicos sirve para evaluar el grado de contaminación que tiene la fuente en el momento de análisis, y en las aguas tratadas o de consumo no solamente para estimar la eficacia del tratamiento, sino como medio para garantizar al consumidor el suministro de agua que desde el punto de vista bacteriológico, tiene condiciones inobjetables.⁵⁸

⁵³ ALBA-TERCEDOR, Javier. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. (2002); Op. cit., p. 204.

⁵⁴ PALMA, Alejandro. Bioindicadores de calidad de agua. Santiago de Chile. p.2.

⁵⁵ ROLDAN, Gabriel. Los macroinvertebrados y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. (1992); Op. cit., p.22.

⁵⁶ ROLDAN, Gabriel. Los macroinvertebrados y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. (1992); Op. cit., p.22.

⁵⁷ JARAMILLO, Juan. Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. En: Revistas ingenierías. Universidad de Medellín. Vol.0, No.1. (2002); p.96.

⁵⁸ BAYONA, Hernando. Manual de laboratorio para análisis de aguas. Bogota. (1978); p.107-111.

Las bacterias están presentes en todas las aguas naturales, la mayoría de las bacterias son inofensivas y algunas pueden ser hasta benéficas, pero hay otras que son origen de enfermedades y causar hasta la muerte. Si a una fuente de agua para consumo humano se le comprueba la presencia del grupo coliforme conlleva a que el agua fue contaminada con materias fecales y en estas puede haber además de los coliformes bacterias y organismos patógenos, volviendo el agua potencialmente peligrosa aconsejando su rechazo para este fin.⁵⁹ Es importante resaltar que el grupo coliforme es resistente a los gérmenes antisépticos, principalmente al cloro y a sus derivados.

3.2.6.4.1 Criterios de calidad bacteriológica del agua.

Tabla 4. De acuerdo con la OMS⁶⁰ (1978), los siguientes son los criterios utilizados para la clasificación de las aguas según el NMP de coliformes totales en 100 ml.

Clasificación	NMP DE coliformes / 100ml
I. Calidad bacteriológica que no exige más que un simple tratamiento de desinfección.	0-50
II. Calidad bacteriológica que requiere la aplicación de métodos habituales de tratamiento como coagulación	50-5000
III. contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos.	5000-50000
IV. Contaminación extrema, que hace inaceptable el agua amenos que se recurra a tratamientos especiales.	>50000

⁵⁹ Ibid. p.109-111.

⁶⁰ OMS, Citado por ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de limnología neotropical. (1992); Op. cit., p.478.

3.2.6.5 Índices biológicos. Como indica Quintero⁶¹, los índices biológicos tienen la característica de almacenar información histórica de un cuerpo de agua, ya que los vertidos esporádicos producen cambios cualitativos y una disminución en el número de especies y el medio acuático necesita tiempo para ser recolonizado por las mismas especies.

3.2.6.5.1 Índice BMWP. El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua en función de la tolerancia frente a la polución orgánica usando los macroinvertebrados como bioindicadores. El método solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia/ausencia). El puntaje va de 1 a 10, de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica⁶². La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

⁶¹ QUINTERO, Milena. Caracterización limnológica de la quebrada Piacun (Pupiales – Nariño) mediante parámetros físicos-químicos y biológicos. (2005); Op. cit., p.36.

⁶² ARMITAGE, citado por ROLDAN, Gabriel. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia propuesta para el uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia. Medellín. (2003); p.29.

Tabla 5. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (para Colombia)⁶³.

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Perlidae, Oligoneuridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Lampyridae, Odontoceridae, Blepharoceridae, Psephenidae, Hydridae, Chordodidae, Lymnessiidae, "hidracaridos", Polythoridae, Gomphidae.	10
Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Xiphocentronidae, Dytiscidae, Ampullariidae, Polycentropodidae, Hydrobiosidae, Gyrinidae, Ephemeridae, Hydraenidae, Philopotamidae, Polymitarcydae.	9
Veliidae, Geriidae, Simuliidae, Pleidae, Saldidae, Lestidae, Hebridae, Pseudothelphusidae, Hydrobilidae, Helicopsychidae, Leptoceridae, Palaemonidae.	8
Baetidae, Calopterygidae, Glossomatidae, Corixidae, Notonectidae,	7
Leptohyphidae, Dixidae, Hyalellidae, Naucoridae, Scirtidae, Dryopidae, Psychodidae, Coenagrionidae, Planariidae, Caenidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae.	7
Ancylidae, Lutrochidae, Aeshnidae, Libellulidae, Elmidae, Sialidae, Sthapylinidae, Limnichidae, Megapodagrionidae, Corydalidae.	6
Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Tabanidae, Thiaridae, Pyralidae, Planorbiidae, Mesoveliidae.	5
Hyrudinea (Glossiphoniidae, Cyclobdellidae), Physidae, Tipulidae, Hydrophilidae, Ceratopogonidae.	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2
Oligochaeta (Tubificidae).	1

3.2.6.5.2 Mapas de calidad de agua. En la siguiente tabla se muestra cinco clases de calidad de agua resultantes al sumar la puntuación obtenida por familias

⁶³ Ibid. p.31.

encontradas en un ecosistema determinado. El total de los puntos se designan como valores BMWP/Col. De acuerdo con el puntaje obtenido en cada situación se califican las distintas clases de agua, asignándoles a cada una de ellas un color determinado. Este color es el que se usa luego para marcar los ríos y corrientes en el mapa de la región estudiada⁶⁴.

Tabla 6. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, significado y colores para representaciones cartográficas⁶⁵.

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>150, 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

3.2.6.5.3 Índice ASPT. Este índice es conocido como el puntaje promedio por taxón (Average Score Per Taxón) esto es, el puntaje total de BMWP dividido entre el número de los taxa. Es un índice muy valioso para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicara condiciones graves de contaminación⁶⁶.

3.2.6.5.4 Índice de diversidad de Margalef. Este índice usualmente llamado de riqueza, se emplea en comunidades a las cuales se les ha determinado el número de especies presentes y la abundancia total, sin tener en cuenta la abundancia particular de cada una de las especies o taxones.⁶⁷

⁶⁴ Ibid. p.31.

⁶⁵ Ibid. p.32.

⁶⁶ Ibid. p.29.

⁶⁷ CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL. Manual de métodos y procedimientos. Sistema de monitoreo de áreas forestales del pacifico colombiano. Colombia. (1999); p. 100.

Tabla 7. Interpretación del índice de Margalef.

Estación	Característica
<1	Muy baja diversidad
>1 – 2	Baja diversidad
>2 – 2.7	Diversidad media
>2.7 – 3	Alta diversidad
>3	Muy alta diversidad

3.2.6.5.5 Índice de diversidad de Simpson. Empleado en comunidades a las cuales se les han determinado las especies presentes y sus respectivas abundancias⁶⁸

Tabla 8. Interpretación del índice de Simpson.

Estación	Característica
0 – 0.5	Muy baja diversidad
>0.5 - 0.7	Baja diversidad
>0.7 – 0.8	Diversidad media
>0.8 – 0.9	Alta diversidad
>0.9 - 1	Muy alta diversidad

3.2.6.5.6 Afinidad (Bray – Curtis). La afinidad entre mas de 2 estaciones suele requerirse cuando se estudian numerosas estaciones, puede emplearse la afinidad de Jaccard y Bray – Curtis para variables cualitativas y cuantitativas respectivamente. Se emplea el método de agrupamiento elaborándose un dendograma⁶⁹.

⁶⁸ Ibid p. 90.

⁶⁹ Ibid p. 140.

Tabla 9. Interpretación del índice afinidad (Bray – Curtis).

Afinidad	Característica
0 – 0.2	Muy baja semejanza
>0.2 – 0.4	Baja semejanza
>0.4 – 0.6	Semejanza media
>0.6 – 0.8	Alta semejanza
>0.8 – 1	Muy alta semejanza

3.2.7 La interpretación cartográfica. Según Navas⁷⁰, la cartografía ayuda a establecer comparaciones, accede a encontrar lugares y detalles en forma rápida, facilita los estudios de hechos históricos, geográficos y ambientales, permite comprender la organización general del espacio y da simultáneamente una visión sintética del paisaje. Además la interpretación de mapas es un instrumento para la recolección de información, planeación de investigaciones básicas, aplicadas y de desarrollo así como de comunicación, sobre soluciones y problemas que se presentan en una superficie dada.

3.2.8 Protección y recuperación para la calidad del agua en la microcuenca. Actualmente gracias al incremento de las tendencias conservacionistas que luchan sobre el aprovechamiento racional y sostenido de los recursos naturales, se presenta la alternativa de utilizar la microcuenca como unidad de manejo para buscar posibles medidas que prevengan el deterioro de nuestros suelos, bosque y demás recursos.

Jiménez⁷¹, afirma que un aspecto de mucha importancia en el análisis de la problemática de las cuencas es la determinación de áreas críticas. Una identificación frecuente la constituyen las áreas en sobreuso evaluadas por el conflicto del uso de la tierra, pero en realidad pueden presentarse otras situaciones de conflicto y gravedad como por ejemplo; deficiente calidad y cantidad de agua para una población, áreas deforestadas con quema y erosión, sobreuso del suelo de vocación forestal, distribución de la tierra generando minifundio y latifundio, tenencia de la tierra por usuarios sin propiedad, laderas con baja producción y alta degradación del suelo y zonas de pobreza y condiciones marginales.

⁷⁰ NAVAS, Luis. Curso de fotointerpretación. Interpretación cartográfica de mapas topográficos. Guías. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2003); p.2.

⁷¹ JIMÉNEZ, Francisco. Manejo de cuencas hidrográficas I. Curso de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. CATIE. Turrialba. Costa Rica. (2004); p.12.

Lee ⁷², afirma que en la ordenación de recursos de una cuenca se debe procurar mantener o mejorar la capacidad productiva de la tierra, así como sus funciones biológicas, como las cuencas contienen en la mayoría de los casos ecosistemas, la erosión y los escurrimientos superficiales deben limitarse a un mínimo, primordialmente para conservar la capa arable, mantener la fertilidad del suelo y retener el agua en los terrenos de las partes altas evitando así, la sedimentación y las inundaciones en los terrenos agrícolas y urbanos ubicados en las zonas bajas.

En síntesis los procesos de ordenamiento en microcuencas deben considerar todos los mecanismos para manejar, aprovechar y conservar los recursos, especialmente disminuyendo la alteración y contaminación de las corrientes, en función de las necesidades humanas.

⁷² LEE. Citado por SÁNCHEZ, A y PIMENTEL, L. Caracterización de la cuenca vista hermosa y perspectivas para su manejo En: Revista de Chapingo. México. Vol. 15, No. 75. (1991); p. 183.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Según el Plan de Ordenamiento Territorial⁷³, el corregimiento de Genoy se encuentra a siete Km, de la capital San Juan de Pasto en la zona centro occidental del municipio y su vía de acceso es la circunvalar al volcán Galeras. Se ubica a una altura de 2501 m.s.n.m, presenta clima frío seco, su temperatura promedio es de 14°C, con lluvias que varían alrededor de los 500 y 1000 milímetros, las condiciones de sus suelos son derivados del vulcanismo y sedimentación y pertenece a la zona de vida de bosque seco montano bajo (bs – MB)⁷⁴.

La microcuenca Genoy – Guaico con 2114.8 Ha, por conformar un sistema natural y social complejo de gran importancia hace parte de uno de los sistemas hídricos más grandes que nacen en el complejo volcánico Galeras, abastece de agua principalmente a Genoy centro. Presenta un caudal medio de 8,3 L/seg., altura máxima de 4200 m., y una mínima de 2000 m. En toda el área de la microcuenca se presentan relieves variados cuyas altitudes van desde los 2450 m., en la parte baja del corregimiento, hasta las zona de páramo del volcán Galeras sobre los 4000 m⁷⁵. Su ubicación se encuentra entre las coordenadas geográficas latitud 1° 16' 24.35" N y longitud 77° 20' 47.24" W (figura 1).

La precipitación en la quebrada Genoy-Guaico presentó una disminución de lluvia entre los meses de junio, julio y agosto, siendo este último mes el que presento el valor mas bajo con 25.8 mm y dos puntos de alta precipitación en el mes de abril con 260.63 y noviembre con 345 mm, siendo este ultimo valor el registro de mayor precipitación. El promedio total mensual de los últimos diez años es de 823.55 mm. (Figura 2). La temperatura varia en un rango que va de 11.62 a 12.83 °C, los valores que se registraron para los meses de mayor intensidad de lluvia fue para abril con 11.77 °C y de 11.62 °C para el mes de noviembre respectivamente, observándose una baja de temperatura, lo contrario al mes de agosto con la pluviosidad más baja, pero con la mas alta temperatura (12.83 °C). El promedio mensual de este parámetro en los últimos diez años fue de 12.36 °C. (Figura 3).

⁷³ ALCALDÍA MUNICIPAL DE PASTO. Plan de Ordenamiento Territorial. Anuario estadístico. (1988-1990).

⁷⁴ PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE PASTO. Citado por SIGAM. Agenda ambiental del municipio de Pasto. Colombia. (2004); p.52.

⁷⁵ BEDOYA, Fernando. Cultura organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco y Buesaquillo del Municipio de Pasto. (2004); Op. cit., p.40.

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio

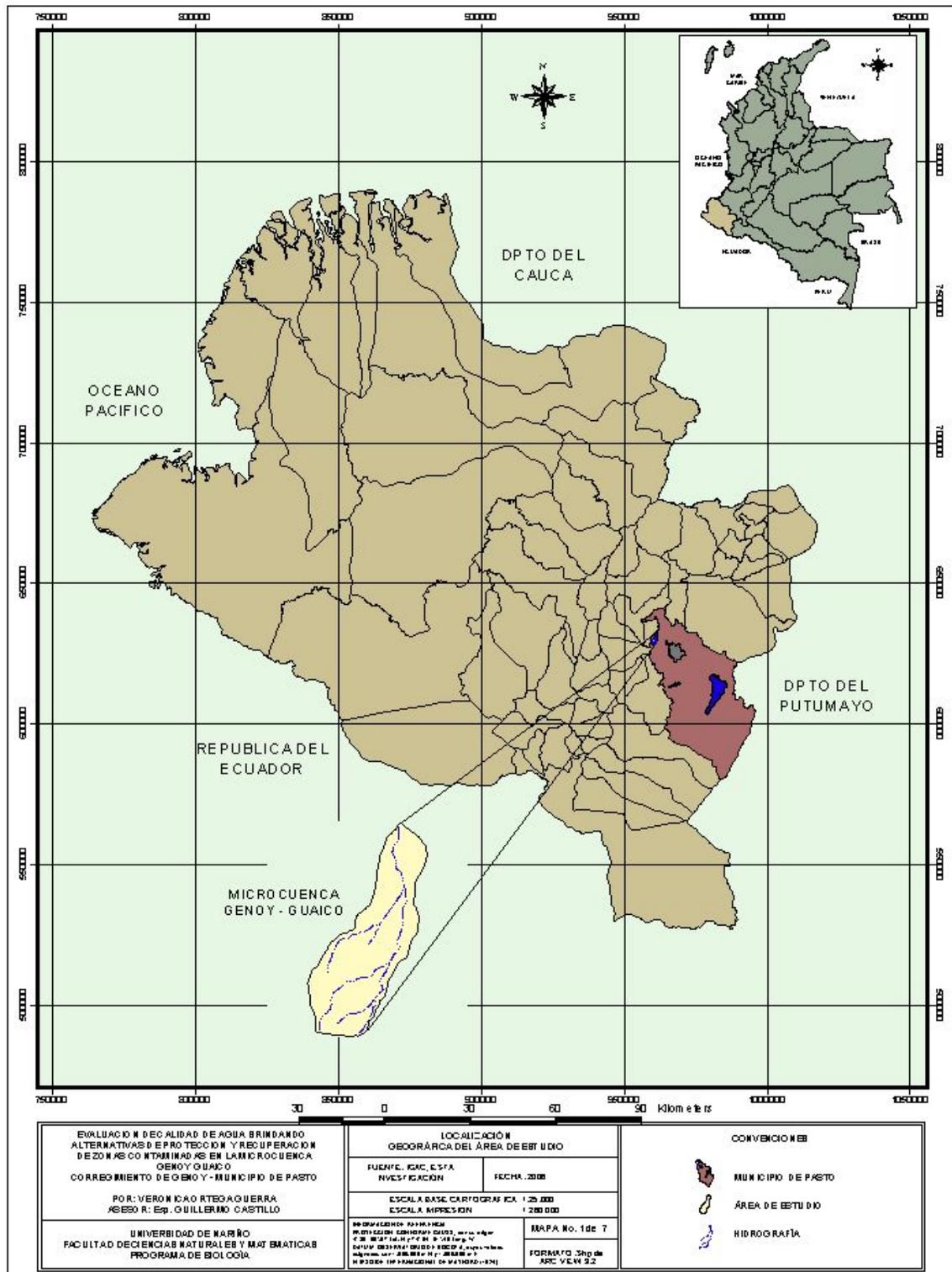


Figura 2. Variación mensual de precipitación de la microcuenca Genoy – Guaico del año 1994 al 2005

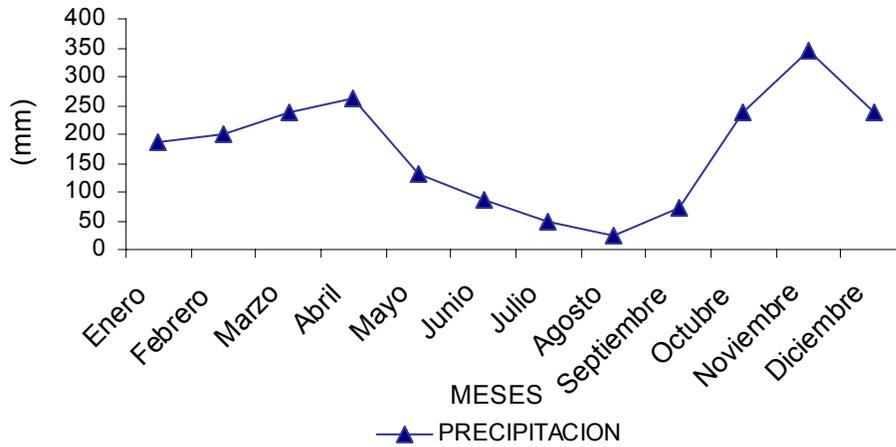
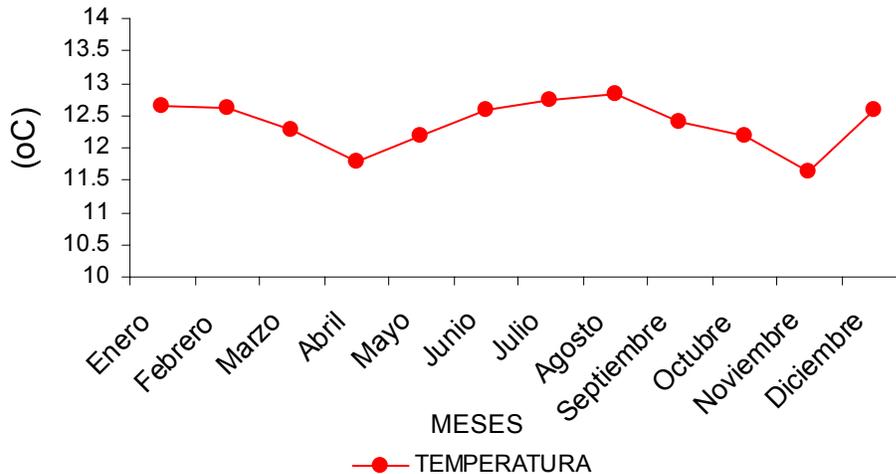


Figura 3. Variación mensual de temperatura de la microcuenca Genoy – Guaico del año 1994 al 2005



Para el desarrollo de este estudio se escogieron tres estaciones situadas en zona alta, media y baja de la microcuenca descritas así:

Estación I. Situada en la zona alta de la microcuenca entre los 3100 y 3200 m., en cercanías a las faldas del volcán Galeras, con las coordenadas geográficas de 01° 14' 39.8" latitud norte y 77° 20' 45.1" longitud oeste. Se caracteriza por tener terreno escarpado con difícil acceso y con abundante vegetación de galería, es evidente la práctica ganadera y poca aplicación agrícola, se observan esporádicos y escasos asentamientos humanos (figura 4).

Figura 4. Estación I. (Se resalta la protección de la quebrada por la presencia de vegetación y bosque ripario).



Estación II. Con las coordenadas geográficas de 1° 15' 01.8" latitud norte y 77° 20' 16.7" longitud oeste, se localiza entre los 2850 y 2950 m., esta zona media es conocida comúnmente en la región con el nombre de "piedra laja", donde esta ubicada la bocatoma para la vereda Castillo loma, siendo también la principal fuente de abastecimiento del acueducto para esta localidad. Se observó que el terreno es mas plano, con mas fácil acceso, presentándose a lo largo de la fuente hídrica grandes plantaciones arbóreas de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), utilizada como fuente para la producción de carbón, leña y madera. Se resaltó la evidencia en varias áreas de la desprotección del cauce por falta de bosque o vegetación riparia, hallándose diferentes sitios de paso que atraviesan el hilo hídrico, se incrementan el número de viviendas, cultivos de pan coger para fines de autoconsumo y en mayor frecuencia áreas dedicadas a labores ganaderas. Cabe resaltar la presencia en este sector de una hermosa cascada que favorece la oxigenación del agua (figura 5).

Figura 5. Estación II. (Nótese el fácil acceso a la corriente por la falta de vegetación protectora).



Estación III. Ubicada inmediatamente antes de la bocatoma de Genoy – Centro entre los 2700 y los 2800 m., y con la georreferencia de 1° 15' 14.9" latitud norte y 77° 20' 14.9" longitud oeste. Se caracteriza por grandes áreas desprotegidas de vegetación y bosque ripario, con varios caminos que brindan libre acceso al cauce, a su alrededor hay mayor número de asentamientos humanos y incrementándose la presencia de cultivos como la papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), arveja (*Pisum sativum*) y ulluco (*Hedyosmun bomplandianum*), disminuyendo la actividad ganadera (figura 6).

Figura 6. Estación III. (Terrenos desnudos de vegetación y variedad de rutas directas hacia el agua de la quebrada).



4.1.1 Fase de campo. Previamente a lo largo del curso de la quebrada Genoy-Guaico se situaron las respectivas zonas de trabajo en el año 2005. Se llevaron a cabo varias salidas de campo, empleando un altímetro digital referencia scape 203-18121, un GPS convencional marca Garmin, planchas cartográficas y cartas preliminares catastrales a escala 1:10.000 (429 II A3 y 429 II C1) del año 1984 y 1983 respectivamente adquiridas a IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), además de la información de habitantes del sector. La digitalización del cartografiado para la realización de los mapas, se la trabajó mediante un SIG (Sistema de Información Geográfica), en este caso con los programas de Autocad y ArcView versión 2000 y 3.2 respectivamente.

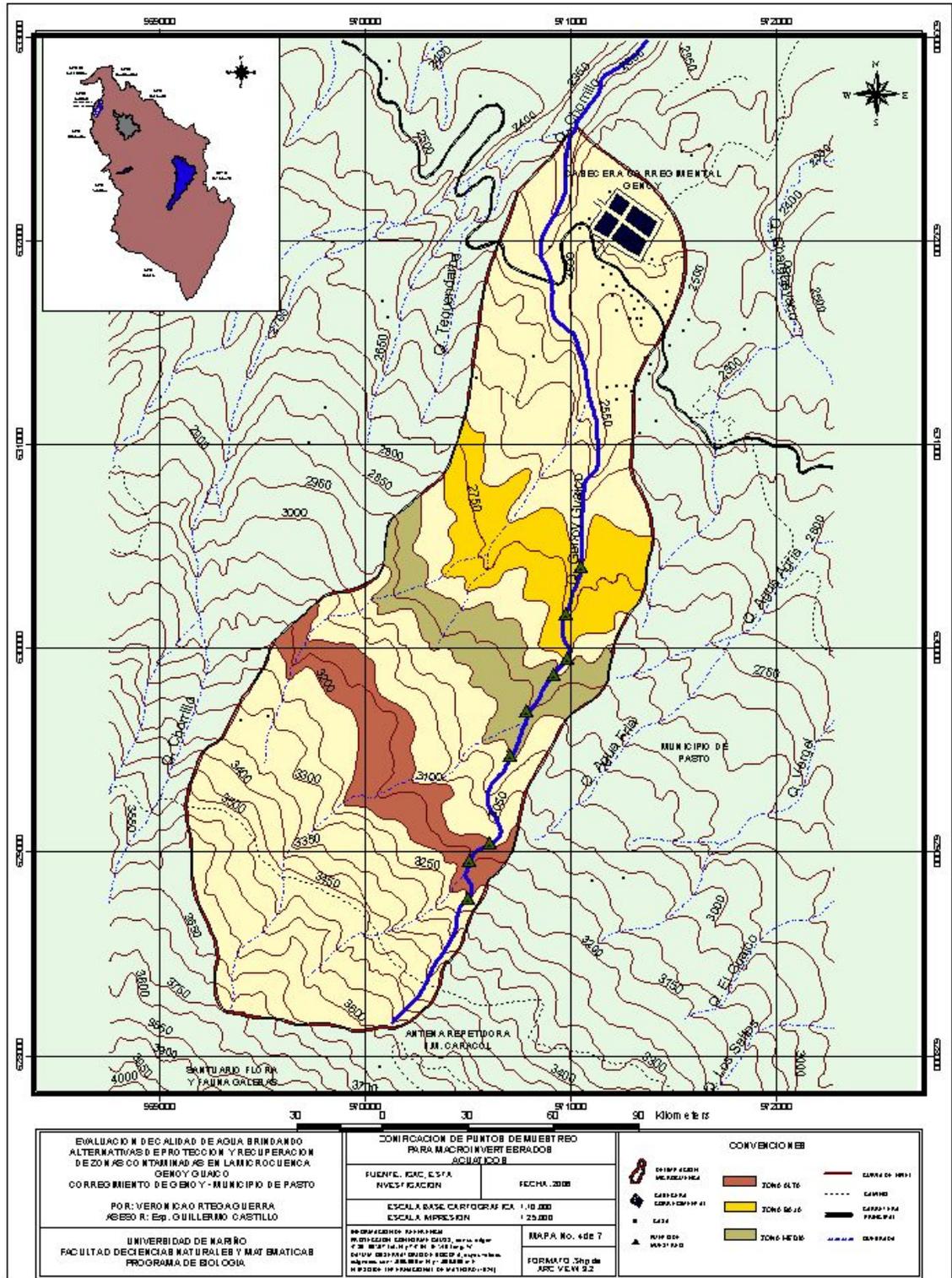
En la microcuenca se trabajó con el procedimiento de “Euler”⁷⁶, evaluándose las variaciones en el tiempo de las características limnológicas del sistema, en sectores fijos llamados estaciones. Con base en lo anterior se ubicaron tres estaciones (alta, media y baja), en cada una de estas se ubicaron tres unidades muestrales con una distancia de 50 m entre cada una de ellas, realizando la recolección de macroinvertebrados como bioindicadores para la elaboración del mapa actual de calidad de agua. (Figura 6). En cada estación se calculó el caudal, se tomaron parámetros físico-químicos (CO₂, OD, turbiedad, conductividad, color, olor, sólidos totales y temperatura), biológicos (macroinvertebrados acuáticos), coliformes totales y fecales.

La toma de muestras se realizó entre los meses de febrero a junio del año 2005 una vez por mes, teniendo en cuenta el comportamiento climático bimodal de la microcuenca determinando época normal de lluvias correspondiente a los meses de enero marzo y noviembre a diciembre; la época de intensificación de lluvias entre los meses de abril a mayo y septiembre a octubre y la época de baja precipitación entre los meses de junio y agosto⁷⁷. Se seleccionaron los meses de febrero, abril y junio que abarcaron las tres épocas, para que los muestreos y datos sean más representativos.

⁷⁶ RUEDA, Guillermo. Manual de métodos en Limnología. Asociación colombiana de limnología. ACL-limnos. (2002); p.48.

⁷⁷ IDEAM. Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. Parámetros climáticos ambientales. San Juan de Pasto. Colombia. (2005).

Figura 7. Puntos de muestreo para macroinvertebrados acuáticos



4.1.1.1 Toma de muestras.

4.1.1.2 Parámetros físico-químicos (*in situ*).

Temperatura. Este parámetro se lo midió con un termómetro de mercurio convencional con precisión de + ó - 1.

Dióxido de Carbono (CO₂). Para su medición se utilizó el método volumétrico de la fenoftaleina.

Oxígeno Disuelto (OD). Se fijó el oxígeno disuelto mediante el método Winkler.

Para el caso de turbiedad, conductividad, color y sólidos totales, en cada una de las zonas se tomó una muestra de 1 litro en botellas de plástico debidamente marcadas, se transportaron refrigeradas a una temperatura de 4°C para mantener una temperatura estable, para su posterior e inmediato análisis en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

Cálculo del caudal Hídrico. Para la medición de este factor se utilizó el método del flotador, que consistió en establecer la velocidad de la corriente del agua en una longitud determinada mediante un flotador del mismo tamaño y peso (bola de icopor). Se busco en cada zona de muestra un tramo análogo, sobre una de las orillas de la corriente se marcó a una distancia fija dos puntos de referencia, se soltó el flotador a la altura del primer punto, en la mitad de la corriente. Se tomo el tiempo que tardo el flotador en llegar desde el primer punto hasta el segundo, con un cronometro realizando tres repeticiones, se midió el área transversal (profundidad y ancho), determinándose en un punto intermedio entre los dos puntos fijos anteriores.

Para la obtención de los valores de caudal se aplicó la siguiente formula:

$$C = \frac{L(m) \times A(m^2) \times 0.8}{t(seg)} \quad \text{Donde:}$$

C = Caudal

L = Distancia

A = Área (profundidad x ancho)

0.8 = Coeficiente de rugosidad

t = Tiempo.

4.1.1.3 Indicadores microbiológicos. De igual manera, en cada zona se tomó una muestra de 100 ml de agua para el análisis de coliformes totales y fecales en un frasco estéril de vidrio, llenando el frasco dentro de la quebrada con mucho cuidado de cerrarlo antes de sacarlo del agua, evitando remansos y cercanía a las orillas, se lo llevo a la nevera portátil para su análisis en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

4.1.1.4 Métodos de captura para macroinvertebrados acuáticos. Se capturaron los macroinvertebrados acuáticos en las diferentes unidades muestrales de cada zona de la quebrada durante 30 minutos a lo largo de 30 m, mediante la red de Surber y por medio de procedimientos como lavado de rocas, búsqueda manual en fondo, piedras, vegetación emergente y sumergida. El material obtenido se depositó en una bandeja de color blanco y usando pinceles de diferente tamaño se separaron y colectaron en frascos plásticos debidamente etiquetados con alcohol al 70% para su preservación.

Figura 8. Recolección de bentos acuáticos mediante la red de Surber



Figura 9. Recolección manual de bentos acuáticos



4.1.2 Fase de laboratorio. Se consideraron los siguientes parámetros físico-químicos (turbiedad, conductividad, color, olor, sólidos totales) e indicadores bacteriológicos (coliformes totales y fecales), los análisis se realizaron en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

El análisis de valoración de los resultados, se determinaron según la tolerancia y requerimientos mínimos admisibles de acuerdo al uso particular que se le otorgue al recurso hídrico, en este caso a la calidad de agua para uso potable, según los decretos números 475 de 1998 del Ministerio de Salud de la Republica de Colombia.

4.1.2.1 Métodos estándar utilizados en la medición de parámetros físicoquímicos y microbiológicos.⁷⁸

Parámetro:	Método:
Color	Colorímetro
Turbiedad	Turbidímetro
Conductividad eléctrica	Conductímetro
Sólidos totales	Gravimétrico
Coliformes totales	filtración de membrana
Coliformes fecales	filtración de membrana

4.1.2.2 Identificación de los bioindicadores acuáticos. En el laboratorio de entomología de la UDENAR se separó el material como barro, sedimento, piedras, hojas etc., que se mezclaron con estos animales. Finalizado este proceso se hizo la debida identificación seleccionándose cada organismo con la utilización de cajas petri, estereoscopio marca M/CARL 26155 JENA, pinzas, pinceles de diferente tamaño y claves taxonómicas propuestas por Epler⁷⁹, Fernández & Domínguez⁸⁰, Edmonson⁸¹, Borrór⁸², Merrit, & Cummins⁸³, Peterson⁸⁴, Roldan⁸⁵, Stehr⁸⁶, Pennak⁸⁷, Hernández⁸⁸.

⁷⁸ APHA. American public health association. Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho. Water pollution control. México. (1998); p.89-102.

⁷⁹ EPLER, T. Identification manual of the water beetles of Florida. (1996).

⁸⁰ FERNANDEZ, H. R. Y DOMINGUEZ, E. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Universidad nacional de Tucumán. Vol .1.Tucumán. Argentina. (2001).

⁸¹ EDMONSON, W. T. Fresh water biology. University of Washington. Second edition. (1959).

⁸² BORROR, Donald. J. An introduction to the study of insects. Third edition. (1970).

⁸³ MERRIT, Richard y CUMMINS, Kenneth. Introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company (1999).

⁸⁴ PETERSON, Alvah. Larvae of insects. Ohio State University. Columbus. (1962).

4.2 ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados obtenidos a través de información secundaria, trabajo de campo, análisis, evaluación y procesamiento de los mismos son aspectos esenciales para el conocimiento de la calidad actual del agua y los diferentes elementos que influyen en su conservación. A continuación se presentan los siguientes análisis:

4.2.1 Evaluación limnológica. Para el tratamiento de los diferentes datos de la calidad del agua, se aplicaron los índices BMWP, ASPT, Margalef, Simpson, curva de diversidad y diversidad con abundancia y afinidad (Bray – Curtis).

4.3 ALTERNATIVAS DE PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA.

4.4.1 Diagnóstico general. Con toda la información suministrada mediante continuas visitas de campo, resultados de parámetros fisicoquímicos y biológicos, comunicación, acompañamiento de habitantes de la región y la observación detallada del sector de estudio, se procedió a detectar los puntos críticos de contaminación más relevantes comprendidos entre los 2700 a 3250 m. A cada foco vulnerable a la contaminación en cada una de las zonas alta, media y baja, con su georreferencia, altura y fotografía, describiendo las características principales y las posibles causas del problema, para que las sugerencias respectivas permitan un manejo sostenible en la microcuenca.

⁸⁵ ROLDAN, Gabriel. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. Medellín. (1996).

⁸⁶ FREDERICK. Stehr. Inmadure insect. Michigan state university. Vol 2. Kendall/Hunt Publishing Company.

⁸⁷ PENNAK. Robber. Fresh water invertebrates of the United States. University of Colorado. The Ronald Press Company. New York. (1953).

⁸⁸ HERNANDEZ, Angela Martha de. Claves para el curso de insectos inmaduros. Universidad del valle. Santiago de Cali. (1980).

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS LIMNOLÓGICO

5.1.1 Evaluación de la calidad del agua. Los resultados de los parámetros detallados a continuación son un indicio para la designación del estado actual de la calidad del agua, que en orden de prioridades la de consumo humano es fundamental para los habitantes de esta región (tabla 10). Los valores límites establecidos para tal fin se enmarcan de acuerdo con el decreto 475 de 1998⁸⁹.

Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos en los meses de muestreo

Meses Estaciones Parámetro	Febrero			Abril			Junio			Valor admisible agua potable
	E I	E II	E III	E I	E II	E III	E I	E II	E III	
Turbiedad (UTN)	1.26	1.08	3.61	2.98	2.41	2.17	1.39	1.66	2.35	≤ 5 (Decreto 475/98)
Temperatura del agua (oC)	2	3	5	5	6	7	6	8	9	—
Color (UCP)	12.8	16.8	25	12.5	15.5	15	8	26.2	48	< 15 (Decreto 475/98)
Conductividad eléctrica (us/cm)	237	164	111	307	257	206	321	269	197	50 - 1000 (Decreto 475/98)
Sólidos totales (mg/l)	263	213	141	254	222	194	285	242	219	< 500(Decreto 475/98)
Caudal hídrico (m ³ /seg)	0.117	0.188	0.235	0.12	0.197	0.275	0.103	0.145	0.199	—
Oxígeno disuelto (% de saturación)	78	85	80	79	81	79	85	86	89	80 – 120 (Wetzel/81)
Dióxido de carbono (mg/l)	6.6	6.6	6.6	11	6.6	6.6	2.2	11	11	≤ 3 (Cole/98)

⁸⁹ MINISTERIO DE SALUD. Decreto No 475 del 10 de marzo. Colombia. (1998); Op. cit., p.6-20.

5.1.1.1 Físico-química del agua

5.1.1.1.1 Turbiedad. El valor más alto lo presenta la estación III (3.61 UTN) en el mes de febrero así mismo se encuentra el valor mas bajo con (1.08 UTN), en el mes de abril a diferencia del mes de febrero y junio los valores de la turbiedad disminuyen de la estación I a la III.

5.1.1.1.2 Temperatura del Agua. El valor de la temperatura aumenta progresivamente de la estación I a la III en los respectivos meses de muestreo, se destaca que el mes de febrero presentó la menor temperatura con valores de (2, 3 y 5 oC) y los valores mas altos con (6, 8 y 9 oC) corresponden al mes de junio para las estaciones I, II y III respectivamente.

5.1.1.1.3 Color. En las estaciones II y III para los meses de febrero (16.8 – 25 UCP) y junio (26.2 – 48 UCP) respectivamente se registran valores altos que no cumplen con la normatividad para agua de consumo humano. La única estación acorde con los valores admisibles durante los tres meses de muestreo fue la estación I, con registros de (12.8) para febrero, (12.5) abril y (8) junio.

5.1.1.1.4 Conductividad. Se evidencia un incremento de valores para la estación I (237, 307 y 321 us/cm) hacia las estaciones II y III en los tres meses de muestreo.

5.1.1.1.5. Sólidos totales. Los valores de este parámetro se incrementan progresivamente de la estación III hacia las estaciones I y II durante los meses muestreados.

5.1.1.1.6. Cálculo del caudal Hídrico. El caudal registrado en el mes de febrero para cada una de las estaciones fue de (0.117, 0.188 y 0.235 m³ /seg), para el mes de abril los valores de (0.120, 0.197 y 0.275 m³/seg) y de igual manera los registros de (0.103, 0.145 y 0.199 m³ /seg), correspondientes al mes de junio del año 2005 para las estaciones I, II y III respectivamente. Se observó con los anteriores valores el incremento del caudal de la estación I hacia las estaciones II y III.

5.1.1.1.7. Oxígeno disuelto. Los datos de este parámetro para el mes de febrero se encuentran entre 78 a 85%, se presenta en la estación II un aumento en el porcentaje de saturación a diferencia de la estación I y III para este mes. Para abril los valores están entre 79 a 81% y los registros mas altos se determinan en el mes de junio con 85 a 89%.

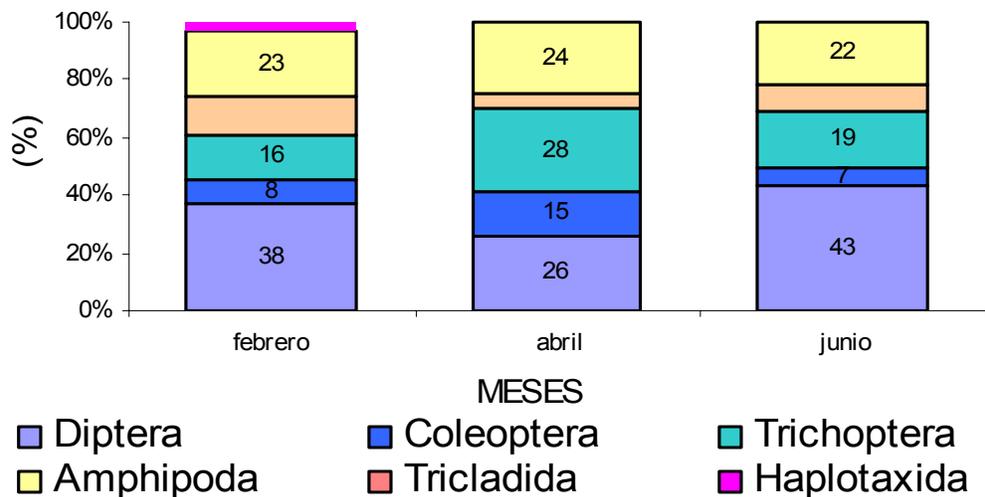
5.1.1.1.8 Dióxido de carbono. Los valores mas altos de este parámetro con (11 mg/l), lo indican las estaciones II y III para el mes de junio y con el valor mas bajo con (2.2 mg/l), presente en la estación I durante el mes de abril.

5.1.1.2 Factores biológicos del agua

5.1.1.2.1 Macroinvertebrados acuáticos. En este estudio se obtuvo un total de 10.661 individuos; distribuidos en 15 Órdenes, 42 Familias y 53 Géneros. Los cuales se consignaron en la colección entomológica de la U de Nar.

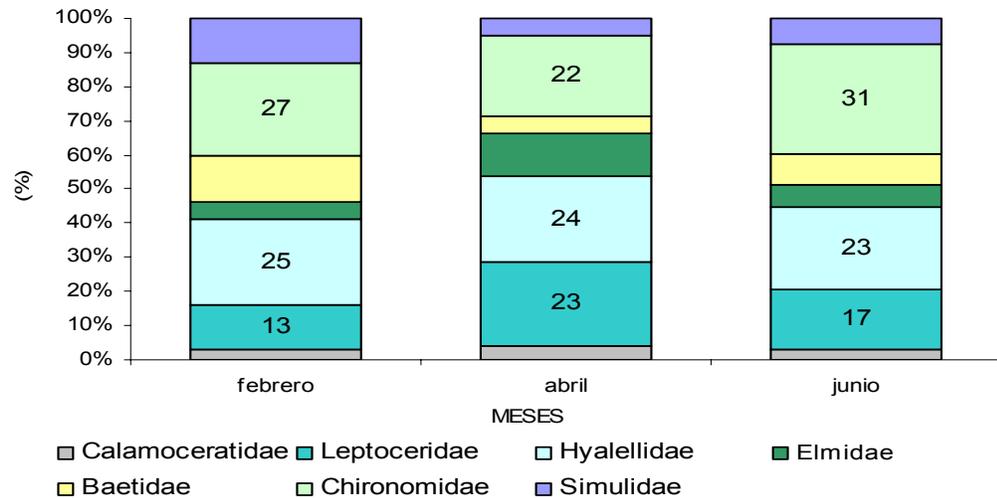
Los porcentajes más sobresalientes de acuerdo a los órdenes recolectados, fue para *Diptera* presente en los meses de febrero época normal de lluvias y junio época de ausencia de precipitación con el 38% y 43% respectivamente. *Trichoptera* con 28%, para el mes de abril época de mayor intensidad de lluvias. Cabe destacar que *Haplotaxida* aunque no tiene un alto porcentaje, se registró únicamente en el mes de febrero (figura 10).

Figura 10. Ordenes de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy – Guaico presentes en los meses de muestreo



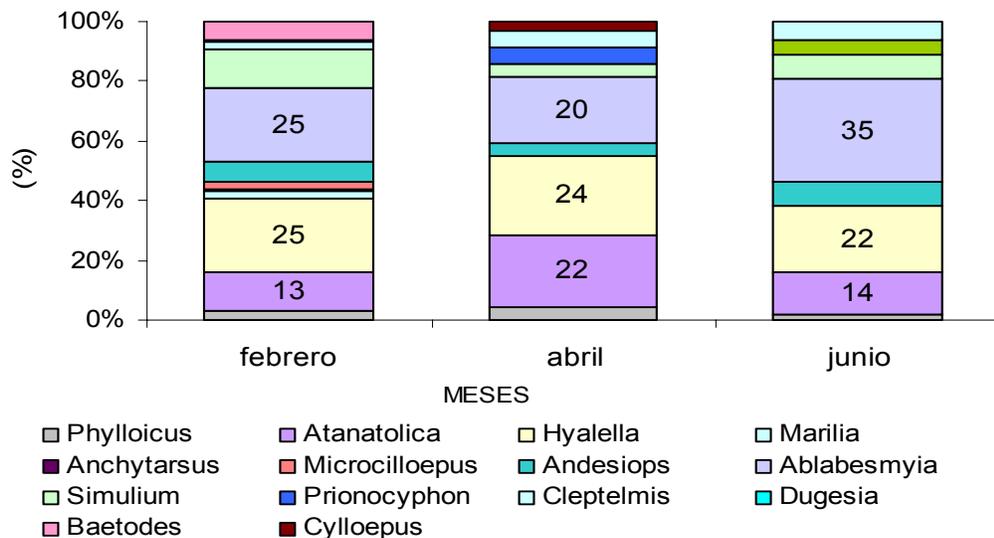
A nivel de familia las más sobresalientes en cuanto a porcentajes para los meses de febrero y junio fue *Chironomidae* con el 27% y 31% respectivamente, en abril *Hyalellidae* con el 24%. Cabe destacar que se reportan todas las familias para los meses de muestreo.

Figura 11. Familias de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy - Guaico presentes en los meses de muestreo



Los valores más representativos en porcentajes a nivel de género para el mes de febrero y junio fue para *Ablabesmyia* con el 25% y 35% respectivamente, para abril mes de mayor intensidad de lluvia, *Hyalella* presenta un valor de 24%. Se observa que los géneros de *Marilia*, *Anchytarsus*, *Microcilloepus*, *Dugesia* y *Baetodes levis* carecen de registros en los meses de abril y junio, *Cylloepus* solo se presenta en el mes de abril (figura 12).

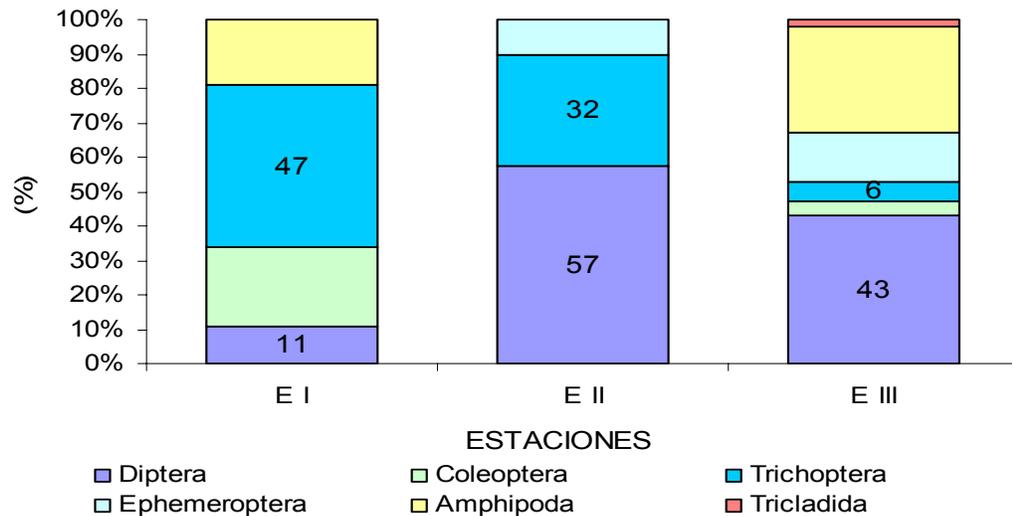
Figura 12. Géneros de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca Genoy - Guaico presentes en los meses de muestreo



Para las estaciones de muestreo de los macroinvertebrados acuáticos el valor de porcentaje se dio de la siguiente manera:

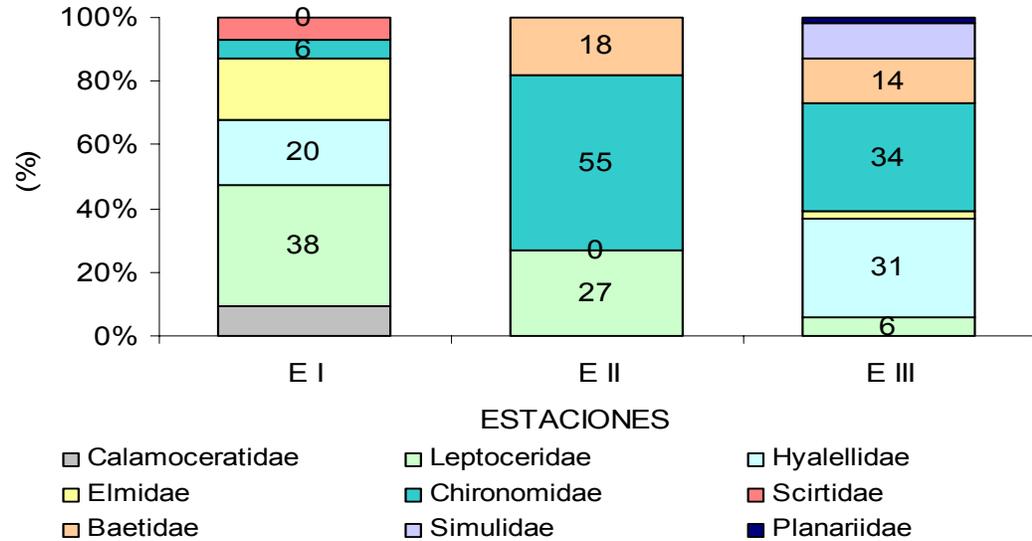
En la estación I, los ordenes mas sobresalientes fue *Trichoptera* 47%, *Coleóptera* 23% y *Amphipoda* con 19%, observándose la ausencia de *Tricladida*. Para la estación II fueron más notables *Díptera* y *Trichoptera* con valores de 57% y 32% respectivamente, siendo *Tricladida* y *Amphipoda* los que no presentan registros, y en la estación III existió mayor porcentaje de *Díptera*, *Amphipoda* y *Ephemeroptera* con valores correspondientes a 43%, 31% y 14%, encontrándose todos los ordenes en mención (figura 13).

Figura 13. Ordenes de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy Guaico en las tres estaciones de muestreo



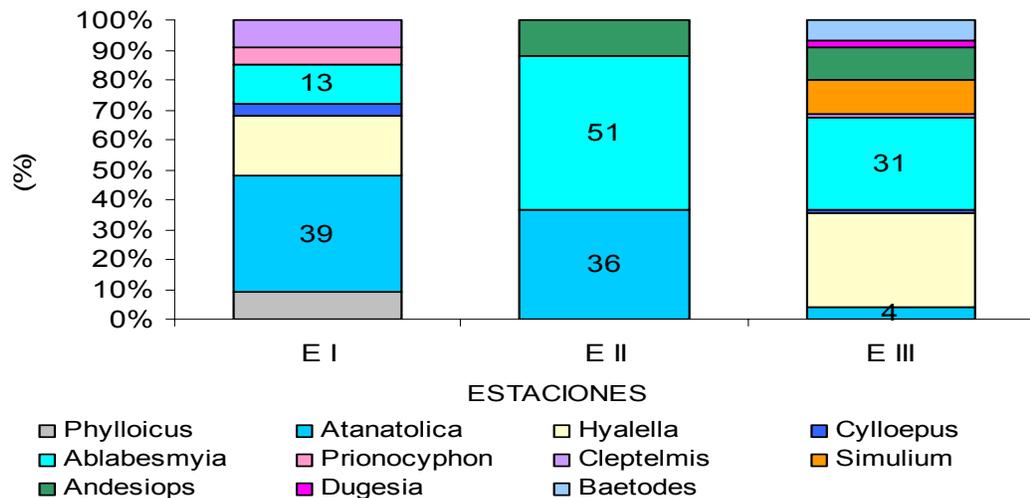
En la estación I las familias que se reportaron fueron *Leptoceridae*, *Hyaellidae* y *Elmidae* con 38%, 20% y 19% respectivamente, las familias de *Baetidae*, *Simulidae* y *Planariidae* no se presentan, para la estación II las familias más significativas fueron *Chironomidae* y *Leptoceridae* con 55% y 27% respectivamente, en esta estación se nota más ausencia de familias. En la estación III, las familias que se destacan fueron *Hyaellidae* y *Chironomidae* con el 31%, 34% respectivamente y con 14% para *Baetidae*. No se presentan las familias *Scirtidae* y *Calamoceratidae* (figura 14).

Figura 14. Familias de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy Guaico en las tres estaciones de muestreo



Los géneros más importantes en la estación I fueron *Atanatica* con 34% e *Hyalella* con 16%. En la estación II, *Ablabesmyia* alcanzan valores de 43% y *Atanatica* 14%. En la estación III los géneros de *Hyalella* y *Ablabesmyia* presentaron valores de 31% y *Simulium* 11%. De acuerdo con la figura 15 la estación I y III presentan mayor numero de géneros a diferencia de la estación II.

Figura 15. Géneros de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca Genoy Guaico en las tres estaciones de muestreo



5.1.1.3 Análisis microbiológico

Tabla 11. Coliformes totales y fecales (UCF/100ml) encontrados en las tres estaciones y meses de muestreo en la microcuenca Genoy – Guaico

Meses	Febrero			Abril			Junio			Valor admisible agua potable
	Estaciones E I	E II	E III	E I	E II	E III	E I	E II	E III	
Parámetro										
Coniformes totales	265	405	217	6	12	19	50	40	150	2/100 ml. (Decreto 475/98)
Coliformes fecales	27	26	138	2	4	13	0	6	12	0 (Decreto 475/98)

5.1.1.3.1 Coliformes totales. Los resultados indican que todas las estaciones en los periodos de muestreo presentan estas unidades formadoras de colonias (UFC), resaltando el mes de febrero por presentar los valores mas elevados hasta de (405 UFC) en la estación II, los demás valores exhiben un incremento de la estación I a la III en los meses de abril y junio.

5.1.1.3.2 Coliformes fecales. Es Indiscutible que estas bacterias fecales se encuentran en gran cantidad en la microcuenca, su número varia desde los 2 hasta los 138 UFC, afirmando una contaminación de este tipo para la calidad de agua de esta fuente. Durante los meses de muestreo los valores se van acumulando a medida que se recorre la microcuenca, hacia los sectores más bajos desde la estación I a la III.

5.1.1.4 Índices bióticos para calidad de agua.

5.1.1.4.1 BMWP y ASPT.

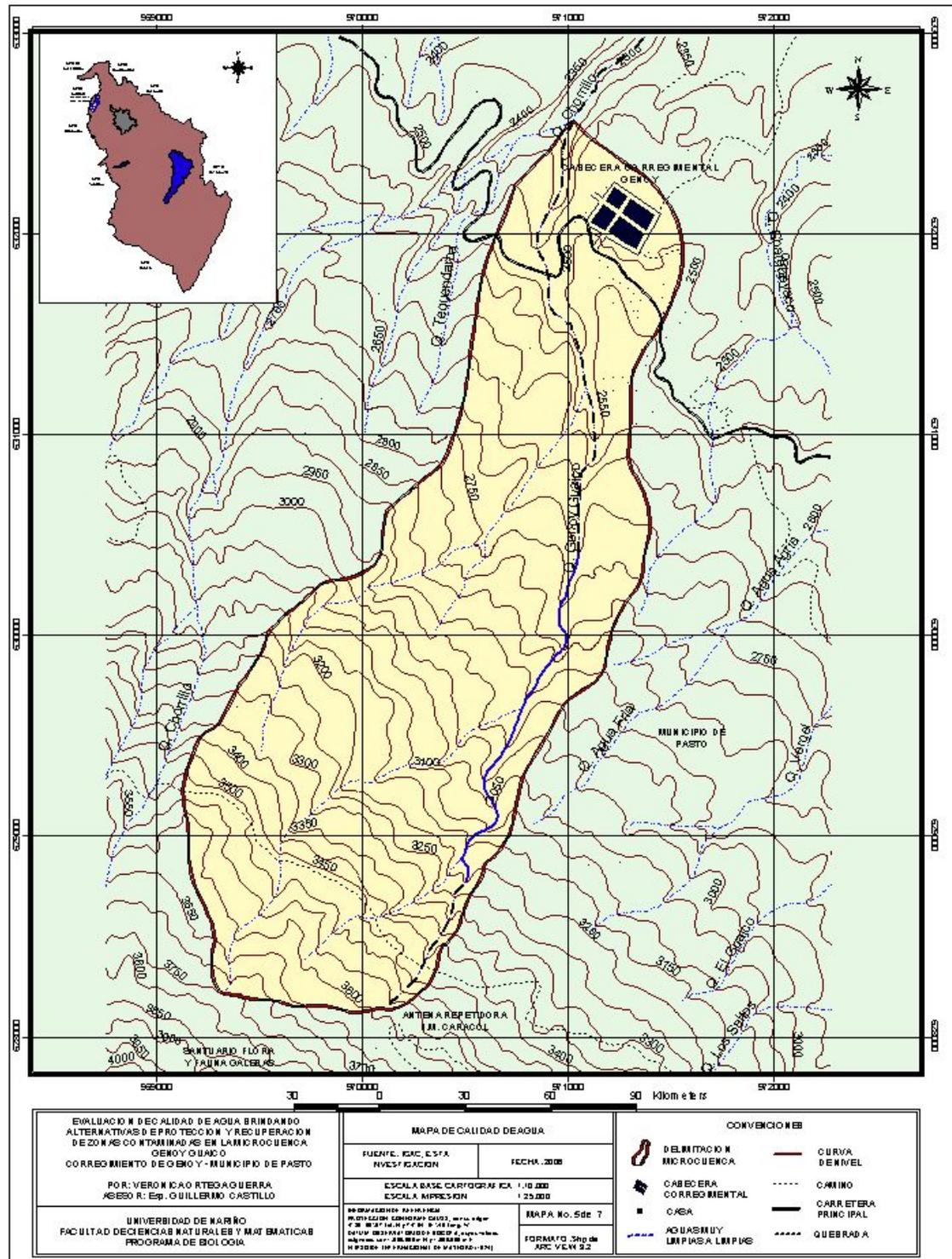
Tabla 12. Valores de los índices BMWP y ASPT adaptados para Colombia según Roldan⁹⁰, en las tres estaciones de los meses de muestreo.

Meses de muestreo	BMWP			ASPT		
	I	II	III	I	II	III
Febrero	205	148	150	6.61	6.16	5.76
Abril	194	145	162	6.68	6.59	6.75
Junio	177	185	226	6.32	6.16	6.45
Total						
Estación / 3	192	159	179	6.53	6.30	6.32

Los resultados demuestran que el puntaje total del índice de BMWP del mes de febrero, abril y junio para las respectivas tres estaciones indican aguas de clase I, de buena calidad correspondientes a la coloración azul para la representación cartográfica en el mapa de calidad de agua, resultando las aguas de esta fuente como muy limpias a limpias. (Figura 16).

⁹⁰ ROLDAN, Gabriel. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia propuesta para el uso del método BMWP/Col. (2003); Op. cit., p.31.

Figura 16. Mapa de calidad del agua en el sector de estudio de la microcuenca Genoy – Guaico.

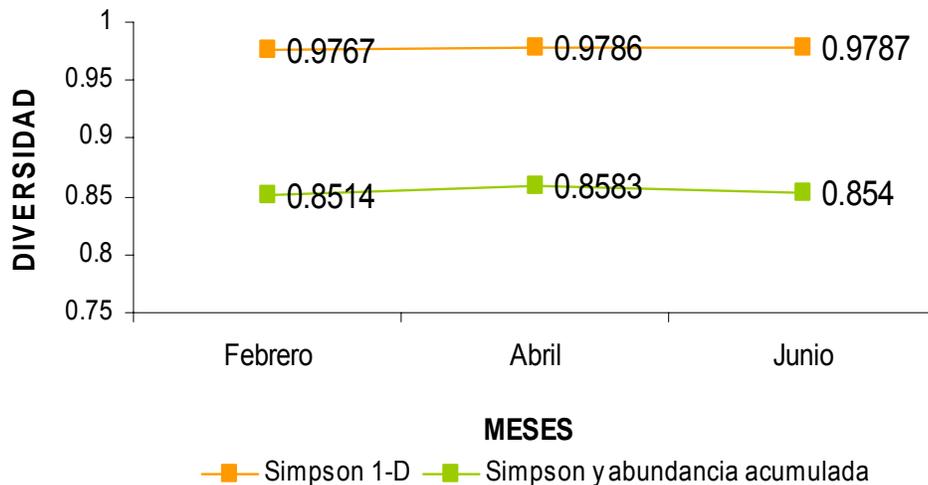


5.1.1.4.2 Índice de diversidad de Margalef. Para las estaciones I, II y III con este índice se obtuvo los valores de 4.9, 5.13 y 4.28 respectivamente, indicando una muy alta diversidad, por presentar valores mayores a 3.

5.1.1.4.3 Índice de diversidad de Simpson. De acuerdo con este índice para la estación I se obtuvo un valor de 0.83 disponiéndose como una área de alta diversidad por encontrarse entre los rangos mayores de 0.8 – 0.9, mientras que la estación II y III con un valor de 0.78, presentan una diversidad media por estar comprendida entre los valores mayores a 0.7 – 0.8.

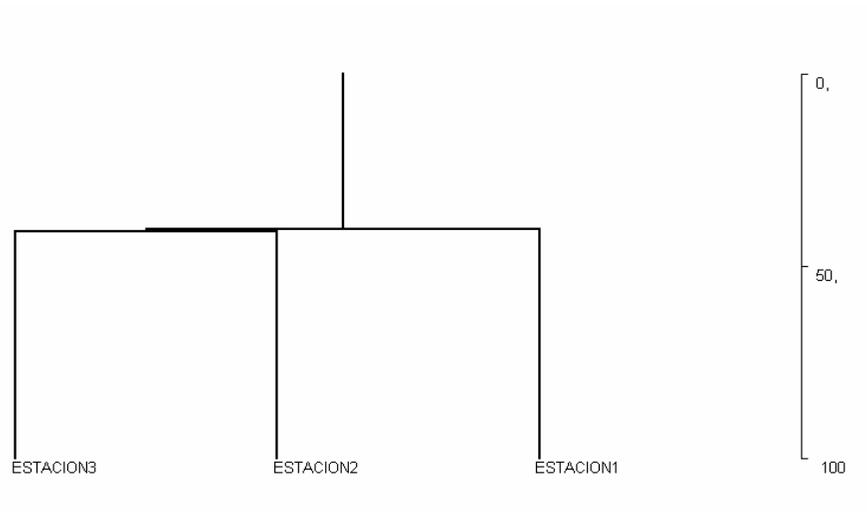
5.1.1.4.4 Curva de diversidad y diversidad con abundancia acumulada. Según la figura 17, se observa la estabilización que oscila entre los rangos de 0.9767 a 0.9787 para diversidad de macroinvertebrados y para diversidad y abundancia acumulada entre 0.8514 a 0.854, acercándose a un nivel máximo de los géneros que se indican de acuerdo con los muestreos realizados.

Figura 17. Curva de diversidad y diversidad con abundancia acumulada de géneros de macroinvertebrados acuáticos para las tres estaciones en los meses de muestreo en la microcuenca Genoy - Guaico



5.1.1.4.5 Afinidad (Bray – Curtis). Para género, las estaciones II y III exhiben un puntaje de (40.94) con mayor afinidad entre las dos con respecto a la estación I con valor de (33.58).

Figura 18. Afinidad de géneros de macroinvertebrados acuáticos para las tres estaciones de muestreo.



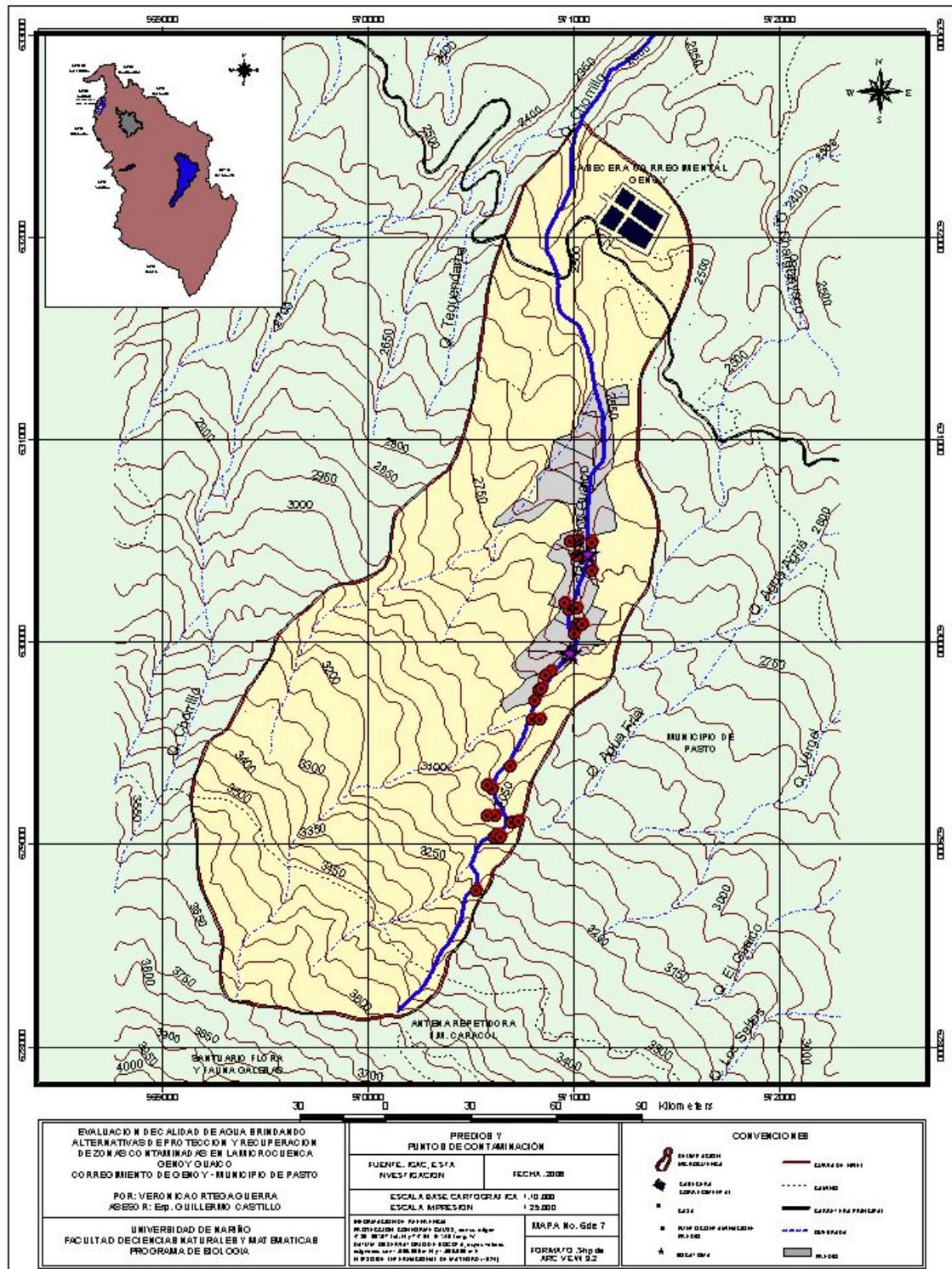
5.2. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN

A través del análisis de los datos recolectados se obtuvo una visión mas detallada del estado actual de la calidad del agua de la microcuenca, además de los recursos naturales comprometidos y que son vulnerables a algún tipo de contaminación.

Con la colaboración de personas de la localidad, observación directa y las salidas de campo, se procedió a detectar el origen de las fuentes contaminantes mediante la confrontación de la carta preliminar catastral (429 II A3 y 429 II C1) del año 1984 y 1983 respectivamente del municipio de Pasto en donde se encuentran los antiguos predios pertenecientes a la zona de estudio y los actualmente encontrados en esta investigación. Para cada punto se tomo su georreferencia, el uso de suelos, la altura en m y su registro fotográfico correspondiente.

Entre las alturas 2.700 a 3.250 m, es evidente la variación de la calidad del agua y los lugares más afectados por la presencia de las distintas fuentes contaminantes, básicamente las UFC de coliformes, siendo este parámetro el más importante que sobrepasa los valores permitidos para agua potable. A continuación se describen las áreas y puntos críticos de contaminación. (Figura 19).

Figura 19. Predios y puntos de contaminación en la microcuenca Genoy – Guaico.



5.2.1 Diagnostico de focos de contaminación difusos y puntuales en la microcuenca genoy – guaico.

5.2.1.1 Contaminación puntual.

5.2.1.1.1 Basuras. Las siguientes coordenadas geográficas y alturas encontradas a lo largo del recorrido en la microcuenca corresponden a este tipo de contaminación (tabla 13).

Tabla 13. Coordenadas geográficas y alturas de contaminación puntual por basuras.

Localización (zona)	Altura (m.s.n.m)	Coordenadas geográficas (latitud y longitud)
Alta	3061	1° 14' 41.2" 77° 20' 45.4"
Media	2928	1° 14' 48.1" 77° 20' 29.3"
Media	2895	1° 14' 51.6" 77° 20' 27.0"
Baja	2766	1° 15' 01.3" 77° 20' 19.2"

5.2.1.1.2. Sitios de paso. En la tabla 14 se presentan los puntos pertenecientes a este tipo de influencia para contaminación a lo largo del sector de estudio en la quebrada.

Tabla 14. Coordenadas geográficas y alturas de contaminación puntual por sitios de paso.

Localización (zona)	Altura (m.s.n.m)	Coordenadas geográficas (latitud y longitud)
Alta	3214	1° 14' 34.2" 77° 20' 52.9"
Alta	3118	1° 14' 37.9" 77° 20' 49.5"
Alta	3061	1° 14' 41.2" 77° 20' 45.4"
Alta	3019	1° 14' 43.9" 77° 20' 36.0"
Media	2889	1° 14' 50.8" 77° 20' 27.4"

5.2.1.2 Contaminación difusa.

5.2.1.2.1 Ganadería. Bajo este tipo de contaminación en la microcuenca se ubicaron los siguientes puntos (tabla 15).

Tabla 15. Coordenadas geográficas y alturas de contaminación difusa por ganadería.

Localización (zona)	Altura (m.s.n.m)	Coordenadas geográficas (latitud y longitud)
Alta	3214	1° 14' 34.2" 77° 20' 52.9"
Alta	3118	1° 14' 37.9" 77° 20' 49.5"
Alta	3090	1° 14' 40.1" 77° 20' 47.5"
Alta	3086	1° 14' 39.3" 77° 20' 46.4"
Alta	3081	1° 14' 39.7" 77° 20' 43.7"
Media	2928	1° 14' 48.1" 77° 20' 29.3"
Media	2895	1° 14' 51.6" 77° 20' 27.0"
Media	2889	1° 14' 58.4" 77° 20' 26.7"
Baja	2786	1° 15' 03.9" 77° 20' 20.5"
Baja	2773	1° 15' 03.8" 77° 20' 20.0"
Baja	2753	1° 15' 05.8" 77° 20' 19.2"
Baja	2752	1° 15' 05.7" 77° 20' 19.6"
Baja	2727	1° 15' 10.6" 77° 20' 16.8"

5.2.1.2.2 Agricultura. Estos lugares se encuentran en menor cantidad que los ganaderos discriminándose a continuación en la siguiente tabla (tabla 16).

Tabla 16. Coordenadas geográficas y alturas de contaminación difusa por agricultura.

Localización (zona)	Altura (m.s.n.m)	Coordenadas geográficas (latitud y longitud)
Alta	3089	1° 14' 39.8" 77° 20' 45.1"
Alta	3003	1° 14' 42.8" 77° 20' 37.2"
Baja	2875	1° 14' 57.9" 77° 20' 24.3"
Baja	2718	1° 15' 16.4" 77° 20' 14.4"
Baja	2703	1° 15' 15.7" 77° 20' 15.3"

5.3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FOCOS DE CONTAMINACIÓN EN LA MICROCUENCA GENOY - GUAICO

En la zona alta y media comprendida entre los 3200 - 2850 m, se reconoce que la mayoría de las áreas alrededor de la microcuenca se dedican a actividades ganaderas. En la zona baja comprendida entre los 2700 – 2800 m se presenta un aumento en la producción agrícola sin descartar zonas de diligencias pecuarias presentes, además de la disminución de la cobertura vegetal originaria.

Es preciso priorizar a corto y mediano plazo las alternativas para disminuir los impactos que a un futuro pueden incrementarse en esta microcuenca. Para esto se tiene en cuenta la zona mas afectada ubicada entre los 2700 a 2950 m (Figura 20), donde las propuestas planteadas enumeran mecanismos y ejercicios de una posible planificación para algunos componentes ambientales en torno a elementos del ecosistema acuático que intervienen representativamente en su orden y funcionamiento.

5.3.1 Contaminación puntual.

5.3.1.1 Basuras. Es importante controlar y disminuir este tipo de residuos que son depositados en los potreros, a orillas de la fuente y en el agua, dada la circunstancia de su difícil degradación y que son arrojados continuamente sin ninguna precaución.

5.3.1.1.1 Objetivos a lograr.

Disminuir materiales de desecho que puedan llegar a la fuente de agua.

Difundir a la población beneficiaria de la microcuenca la importancia del adecuado manejo de los diferentes residuos.

5.3.1.1.2 Acciones a emprender.

Fomentar la educación ambiental por medio de campañas y seminarios para la defensa de la calidad del recurso hídrico involucrando al sector educativo, personal capacitado en la temática y la comunidad en general.

Asesoría para el debido manejo y disposición de basuras.

5.3.1.1.3 Indicadores.

Número de reuniones y personas que asistan a las campañas, asesorías y seminarios.

Disminución de materiales arrojados al cauce.

Número de actores sociales involucrados y comprometidos.

5.3.1.2 Sitios de paso. La apertura de diferentes caminos para cruce de animales y acceso antrópico es un motivo de preocupación, por la progresiva intervención que a futuro encamine a una destrucción irreversible de los recursos adyacentes al ecosistema hídrico.

5.3.1.2.1 Objetivos a lograr.

Impartir conciencia ambiental sobre los efectos negativos del incremento de estos sitios.

Evitar mayor degradación del suelo.

Disminuir la contaminación del agua.

Impedir el acceso directo al cauce.

5.3.1.2.2 Acciones a emprender.

Sembrar vegetación en la rivera de la quebrada para evitar nueva entrada al agua.

Adecuar senderos en zonas que no tengan influencia directa con el agua.

Construcción de puentes donde sean estrictamente necesarios para el paso de animales y personas con materiales previamente seleccionados que no produzcan mucho impacto sobre el ecosistema

Informar a la comunidad los efectos que originan este tipo de impactos sobre los recursos suelo y agua fundamentalmente.

5.3.1.2.3 Indicadores.

Mano de obra y cantidad de material seleccionado para la adecuación de puentes necesarios.

Número de concertaciones con dueños de predios para establecer nuevos senderos.

Número de especies vegetales plantadas a la orilla de la quebrada para su protección.

Disminución de sedimentos en el agua.

Reducción de erosión en los terrenos donde había paso frecuente.

5.3.2 Contaminación difusa

5.3.2.1 Ganadería. Quizás este es el mayor problema que presenta la microcuenca en cuanto al mal uso de esta actividad que se ha realizado de forma tradicional, sin ningún adecuado manejo y/o capacitación técnica, comprometiendo hasta agotar los recursos naturales como el bosque, el suelo y principalmente el hídrico.

5.3.2.1.1 Objetivos a lograr.

Evitar la exposición del caudal a los animales

Aminorar la erosión del suelo.

Implementar técnicas de manejo agropecuarias en los terrenos.

Proteger las riveras de la corriente

Disminuir los desechos orgánicos en el agua.

5.3.2.1.2 Acciones a emprender.

Capacitación al sector ganadero en técnicas de manejo pecuario.

Adecuación de cercas vivas.

Propagar especies arbustivas y arbóreas seleccionadas previamente con frutos y flores nativas con alta demanda de aves e insectos benéficos en zonas de nacientes y riparias en la microcuenca.

Reubicación de las especies exóticas en zonas no productivas.

Construir y utilizar bebederos para el ganado.

Redistribución de lotes de pastoreo en lugares retirados de la corriente del agua.

Generar la rotación de ganado.

5.3.2.1.3 Indicadores.

Menor área de exposición del caudal a los animales.

Metros de rivera protegida por barreras y/o cercas vivas.

Número de abrevaderos instalados en cada predio, así como el número de instrumentos necesarios para su construcción.

Disminución de la erosión en el suelo producido por sobrepastoreo.

Mayor capacidad de productividad del suelo.

Número de personas asistentes a las capacitaciones.

Recuperación de atractivos paisajísticos para la región.

5.3.2.2 Agricultura. Esta es otra actividad de producción no tan acentuada en la zona de estudio que puede dirigirse hacia el uso intensivo de los recursos físicos, bióticos y socioeconómicos sobretodo hacia las partes altas de la microcuenca, con el fin de optimizar su explotación sin descartar su persistente avance.

5.3.2.2.1 Objetivos a lograr.

Mejorar el uso y manejo de los cultivos en terreno por parte de los agricultores.

Producción sustentable para la población a través del buen uso del suelo.

Disminuir el avance de la frontera agrícola.

Reducir el deterioro del suelo y la calidad del agua por uso de agroquímicos.

5.3.2.2.2 Acciones a emprender.

Capacitar al gremio agricultor mediante asistencia técnica que reemplace las prácticas inapropiadas, con el apoyo de las entidades estatales necesarias.

Optar por la mezcla de la agroforestería con los cultivos agrícolas para mayor producción de cultivos y protección del suelo.

Hacer uso de cercas vivas alrededor del área cultivada.

Utilizar abonos orgánicos.

Seleccionar los cultivos que ofrecen mayores condiciones de conservación del suelo en relación con las condiciones generales del terreno y la pendiente del mismo.

Implementar la rotación de cultivos.

Propagar especies arbustivas y arbóreas que sirvan de hábitat de aves e insectos benéficos para control de plagas.

5.3.2.2.3 Indicadores

Número de personas que asistan a las capacitaciones.

Reducción de uso de agroquímicos.

Longitud de terreno sembrado con variedad de vegetación y especies forestales.

Número de propietarios que cambien la técnica del monocultivo y la siembra a favor de la pendiente.

Reducción de la contaminación de agua y mayor protección del suelo.

Figura 21. Actividad ganadera en la zona alta, media y baja de la microcuenca



Figura 22. Actividad agrícola en la zona alta, media y baja de la microcuenca



Fotografía 23. Siembra de eucalipto en la zona media de la microcuenca



Fotografía 24. Desprotección de las riveras por escasa vegetación riparia en la zona baja de la microcuenca



Fotografía 25. Sitios de paso en la zona media de la microcuenca



Fotografía 26. Ampliación de la frontera agrícola y ganadera en la zona alta de la microcuenca



6. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados de la tabla 10, dentro de la físico-química del agua la turbiedad registró valores de normalidad para agua potable, tanto para los meses de muestreo como para las estaciones ubicadas por presentar valores no mayores a 5 UNT. Lo anterior evidencia una estrecha relación con los sólidos presentes en el agua, ya que todos los valores se encuentran dentro del rango adecuado para aguas de consumo humano⁹¹ a pesar de algunos incrementos en las estaciones I y III que reflejan la incorporación de materiales naturales o introducidos por el hombre, por la influencia de la precipitación en el periodo de febrero y abril, generando un arrastre de estos elementos al cauce hacia la zona alta y media de esta quebrada.

Quintero⁹², en su estudio en la quebrada Piacum (Pupiales-Nariño), ratifica el incremento de los sólidos totales disueltos a causa del arrastre de sedimentos y la escorrentía provocada por lluvias, factores originados por la erosión de las orillas del cauce, la deforestación y las actividades agrícolas que se asemejan con la problemática observada en la microcuenca Genoy-Guaico. La precipitación influye sobre los valores altos de turbiedad en la estación III en el mes de febrero, ya que por condiciones de la topografía del terreno la velocidad de la corriente es mayor, incorporando diferentes materiales y sedimentos al agua, influyendo la escasa cobertura vegetal que brinda protección a la corriente. La disminución de este parámetro en el mes de abril de la estación I a la III, se generó por heces fecales del ganado, siendo más difícil la disolución de sólidos y materiales orgánicos presentes en el agua por la pendiente y la topografía de las estaciones ubicadas.

Roldan⁹³, menciona que en aguas poco turbias, las plantas y las algas adheridas a las rocas, y troncos, contribuyen en buena parte en la producción de oxígeno, por otro lado, la descarga de materia orgánica, puede causar una baja de oxígeno por debajo de los niveles óptimos para los organismos acuáticos. En relación con lo anterior es importante estabilizar los valores altos de turbiedad en esta zona por varios efectos negativos que intervienen en la estética del paisaje y la corriente de agua, la penetración de la luz y por ende la realización de la fotosíntesis, necesaria para la producción de oxígeno vital para el desarrollo de la fauna acuática.

⁹¹ MINISTERIO DE SALUD. Decreto No 475 del 10 de marzo. Colombia (1998); Op. cit., p. 29.

⁹² QUINTERO, Milena. Caracterización limnológica de la quebrada Piacum (Pupiales-Nariño) mediante parámetros físicos-químicos y biológicos. (2005); Op. cit., p.71.

⁹³ ROLDAN, Gabriel. Manual de limnología guía teórico- práctico. (1987); Op. cit., p.128.

Para Bedoya⁹⁴, la turbiedad para la quebrada de estudio se encontraba por fuera de los valores admisibles para agua de consumo humano con valores altos de 6.95 y 6.03 UNT para las estaciones I y III, ubicadas a los 2900 y 2800 m respectivamente. A diferencia de Bedoya los resultados de esta investigación no coinciden, porque la influencia del espacio y el tiempo para la toma de los parámetros hace que la variación de la calidad del agua de la microcuenca no siempre sea constante lo cual incide en la alteración de los valores por las diferentes intervenciones dentro del ecosistema.

La temperatura se asocia con el oxígeno disuelto y con el crecimiento bacteriano. Margalef⁹⁵, señala que el incremento de la temperatura además de producir un agotamiento en el contenido de oxígeno, aumenta la reproducción bacteriana. Según lo indicado valores entre 80 y 120 % son excelentes, pero los que son menores a 60 y mayores a 125% se consideran malos.⁹⁶ Este comportamiento se debe a que a mayor temperatura se requiere más oxígeno para la descomposición de sustancias en el agua, relacionándose con la cantidad de sólidos totales, donde los valores de mayor porcentaje de saturación de oxígeno en las tres estaciones se presentan durante el mes de junio correspondiente al mes que nota una ausencia de precipitación y por ende un incremento en la temperatura.

La temperatura y la concentración de oxígeno disuelto dependen de la turbulencia, la morfología del cauce y las características biológicas⁹⁷. La disminución del oxígeno en la estación I, a comparación con las otras estaciones de muestreo, se relacionó con la amplia abundancia de los bioindicadores acuáticos, concluyendo que a mayor actividad biológica mayor consumo, disminuyendo su concentración en el agua. Hacia las estaciones II y III por presentarse caídas de agua por la topografía del terreno, estimula el aumento en el nivel de porcentaje de oxígeno para estos sectores, donde de acuerdo con Núñez⁹⁸, los valores altos de oxígeno favorece una alta densidad biológica y el desarrollo de la fauna béntica y como lo afirma Machado y Roldan⁹⁹ en su estudio en el río Anorí y sus principales

⁹⁴ BEDOYA, Fernando. Cultura organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco y Buesaquillo del Municipio de Pasto. (2004); Op. cit., p. 59 – 60.

⁹⁵ Ibid., p.165.

⁹⁶ WETZEL, Robert. Limnología. Barcelona. (1981); p.213.

⁹⁷ ROLDAN, Gabriel. Manual de limnología guía teórico- práctico. (1987); Op. cit., p.128.

⁹⁸ NÚÑEZ, Norbelis. Los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (cuenca del río Gaira, Colombia.) y su relación con la calidad del agua. (2003); Op. cit., p.46.

⁹⁹ ROLDAN, Gabriel y MACHADO, T. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anorí y sus principales afluentes. (1981); Op. cit., p.6.

afluentes, la relación de la temperatura con la estabilidad térmica del ecosistema, facilita el desarrollo de las diferentes poblaciones bénticas bajo condiciones naturales.

El color del agua para consumo humano, debe encontrarse por debajo de 15 UCP. Las estaciones II y III para los correspondientes meses de muestreo no cumplen el requisito, lo que indica que en estos lugares la presencia de sustancias orgánicas disueltas a causa del lavado del material vegetal y otro tipo de residuos es elevada y hay entrada de aguas residuales por cercanías de algunos asentamientos humanos aledaños al curso de agua. Con el incremento de la temperatura para el mes de junio en la estación III, es evidente la influencia para el aumento de la acción bacteriana y las diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas que alteran el color del agua para este sector. Cabe destacar que en las estaciones II y III se percibe los olores producto de las diferentes sustancias que a pesar de no ser constantes se pueden confirmar por la aparición de estiércol, producto de la actividad ganadera, la quema en algunos cultivos para preparación de terreno y los olores propios de descomposición de algún tipo de sustancias, principalmente orgánicas. Teniendo en cuenta que para Salazar¹⁰⁰, la cantidad de sustancia necesaria para producir olor en el agua es muy pequeña, bastan vestigios no determinables en análisis para producir olores desagradables.

Los valores de conductividad arrojan que las tres estaciones y meses de muestreo están dentro del valor establecido para la conductividad eléctrica para agua potable, es decir con el valor de 50 a 1000 us/cm, los incrementos que posee la zona alta se producen por la extensión de las actividades antrópicas sobretodo la ganadera, que por efectos de escorrentía e infiltración llegan al agua, modificando la concentración de minerales y sales que incrementan este parámetro, relacionándose directamente con el contenido de sólidos totales de la zona alta que pueden ser arrastrados por la corriente. Roldan y Machado¹⁰¹, señalan que la conductividad eléctrica puede aumentar como consecuencia de la tala de los bosques y el uso de fertilizantes. En la zona alta de la microcuenca en comparación con la zona media y baja, se presentan los más altos valores coincidiendo con estos autores en que los sectores altos deberían de estar provistos de especies forestales, donde contradictoriamente se talan los bosques para destino energético y son remplazados por la ampliación de actividades agropecuarias en extensas zonas.

¹⁰⁰ SALAZAR, Roberto. Teoría y Diseño de los tratamientos de Aguas Residuales. (2002); Op cit., p.20.

¹⁰¹ ROLDAN, Gabriel y MACHADO, T. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anori y sus principales afluentes. (1981); Op. cit., p.6.

El dióxido de carbono proviene en las aguas naturales de la descomposición de la materia orgánica, de la respiración y de la disolución del sustrato¹⁰². Para Cole¹⁰³, las aguas con características oligotróficas tienen un valor no mayor de 3 mg/l. De acuerdo con lo anterior, todas las estaciones de muestreo están por fuera del valor admisible de dióxido de carbono, excepto la estación I en el mes de junio, revelando una alta descomposición de la materia orgánica procedentes de descargas de actividades ganaderas y de aguas residuales de asentamientos humanos cercanos, donde influye la falta de vegetación protectora al cauce, aumentando los diferentes sitios de paso hacia el hilo hídrico.

En cuanto a los factores biológicos del agua, los macroinvertebrados acuáticos (Bentos) representan la mayoría de los organismos de las comunidades acuáticas y se consideran como indicadores biológicos de la calidad de agua, ya que estos permanecen adheridos al sustrato¹⁰⁴. Para Whilm y Dorris¹⁰⁵, la utilidad de los índices de diversidad de especies para establecer la calidad de una fuente de agua, se basa en la suposición de que en corrientes limpias hay altos valores en la diversidad, por el contrario en corrientes contaminadas existen bajas diversidades.

Según los índices biológicos aplicados, el índice de diversidad de Simpson establece que la estación I a diferencia de las estaciones II y III muestra un mejor puntaje para diversidad debido a que esta zona posee características ecológicas que favorecen la selección de los individuos, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en su mayoría demuestran resultados que refieren a una baja en contaminantes para ese sector, como lo afirman Roldan, Builes, Trujillo y Suárez¹⁰⁶, en su estudio en el río Medellín en la estación de primavera seleccionada como la primera estación de muestreo, ya que allí las mediciones fisicoquímicas y biológicas, iniciales correspondían a aguas poco o no contaminadas, por la variación en los factores físicos y químicos que fueron prácticamente mínimos. Para el índice de diversidad de Margalef, se observó que entre las tres estaciones los valores son semejantes, pero se resalta la estación II por poseer mayor riqueza de géneros. Consecuentemente fue la de más fácil acceso para los muestreos de los bentos, por ser una zona paralela presenta

¹⁰² Ibid., p.6.

¹⁰³ COLE, Gerald. Manual de limnología. Buenos Aires. (1998); p.158.

¹⁰⁴ ROLDAN, Gabriel y MACHADO, T. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anori y sus principales afluentes. (1981); Op. cit., p.9.

¹⁰⁵ WHILM Y DORRÍS, citado por MATTHIAS, U y MORENO, H. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos en el río Medellín y sus principales afluentes. (1983); Op. cit., p.113.

¹⁰⁶ BUILES, J. ROLDAN, G. TRUJILLO, C y SUÁREZ, A. Efectos de la contaminación industrial y domestica sobre la fauna béntica del río Medellín. En: Actualidades biológicas. Medellín. Vol. 2, No. 5. (1973); p. 58.

condiciones ambientales no tan específicas como las estaciones I (zona alta) y la II (zona baja), en cuanto a temperatura, altura, disponibilidad de recursos y quizás de alimento para estos individuos. Respecto a Afinidad (Bray - Curtis), para género en las tres estaciones de muestreo se demostró que la similitud entre los individuos de las estaciones II y III coincide con las diferencias de las condiciones ambientales entre estas estaciones, así mismo con los análisis de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos donde la mayoría de estos muestran condiciones diferentes a la de la estación I, otorgando mayor selectividad de los organismos dependiendo del nivel de contaminación en la zona por el alto grado de antropismo. Los resultados anteriores son afines con los de Palacios¹⁰⁷ en la quebrada la Bendición, donde la similitud resultó ser alta para las tres estaciones de muestreo, reportando valores de 0.93, 0.78 y 0.59 para la estación I, II y III respectivamente.

A través del índice BMWP y sus puntajes arrojados se determinó que durante febrero, abril y junio del año 2005 en las asignadas estaciones (I, II y III), la coloración perteneciente a la zona de estudio para la cartografía es el azul, denotando aguas muy limpias a limpias. Los valores del índice ASPT, se relacionan con los valores del anterior índice, ya que es complementario para la detección de la calidad del cuerpo hídrico. Los valores de las estaciones I y II en los meses de muestreo presentaron un valor más alto que el de la estación II, lo que indica mejores condiciones de calidad del ecosistema acuático sin presentar situaciones de grave contaminación.

El anterior resultado no quiere decir que esta agua sea “potable”, pues este es un concepto que se relaciona con las características microbiológicas y sanitarias. En este caso aguas de buena calidad quiere decir que son ecosistemas que soportan vida en el agua¹⁰⁸.

Núñez¹⁰⁹, en su estudio realizado en el sector de Pozo Azul, cuenca del río Gaira, Magdalena- Colombia, demuestra que el puntaje de BMWP es de 192, equivalente a la clase I aguas muy limpias de buena calidad. Confirmando que se pueden observar aquellas familias que pueden tolerar un alto grado de contaminación como: *Physidae*, *Gyrinidae*, *Dysticidae*, *Hidrophilidae* y *Chironomidae*; y aquellas que no toleran los mínimos grados de contaminación como: *Perlidae*, *Oligoneuridae*, *Calamoceratidae* y *Blepharoceridae*, que al igual que esta investigación coincide este puntaje en la estación I de la microcuenca, la presencia

¹⁰⁷ Ibid., p.28.

¹⁰⁸ ROLDAN, Gabriel; POSADA, José y GUTIÉRREZ, Juan. Estudios limnológicos de los recursos hídricos del parque de piedras blancas. (2001); Op. cit., p.26.

¹⁰⁹ NÚÑEZ, N. los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. (2003); Op.citp., p.52.

de estas típicas familias acordes con el grado de tolerancia para la contaminación y las alteraciones del medio. Según los factores físicos y químicos en un medio acuático determinado, se encuentra una comunidad biológica característica de este medio. Cuando los factores físicos y químicos varían, la comunidad también varía¹¹⁰.

En cuanto a el análisis microbiológico, para Roldan¹¹¹, la determinación de la presencia del grupo coliforme constituye el indicio más delicado y fidedigno de polución así como de la eficacia de la purificación y de la potabilidad del agua. La importancia de los análisis microbiológicos radica no solamente en la potabilidad del agua para uso domestico, sino que también tiene enormes aplicaciones en la limnología, indicando la presencia de estas bacterias entrada de aguas residuales al ecosistema y por lo tanto riesgo de eutroficación. Bedoya¹¹² en el estudio realizado en esta fuente, donde ubica la estación I, II y III a los 2950, 2900 y 2800 m respectivamente, encontró que la presencia de Coliformes totales en la estación I presenta los más altos valores y que a medida que se desciende a las estaciones II y III dicho grupo tiende a disminuir. Para Bedoya la principal fuente de contaminación en las estaciones II y III son las aguas de escorrentía provenientes de los potreros aledaños hacia las riveras de la quebrada, las cuales arrastran las excretas del ganado.

En el presente estudio, la altura de 2950 m pertenece a la estación II en la zona media, coincidiendo con Bedoya¹¹³, en que esta estación para el mes de febrero presenta el mayor número de coliformes totales, pero no siempre a medida que desciende a las estaciones II y III este grupo disminuye, ya que ninguna de las tres estaciones en los meses respectivos de muestreo cumplen con la normatividad establecida para el agua potable, en el decreto 475 de 1998¹¹⁴, donde se indica que de estas unidades formadoras de colonias no se debe sobrepasar los 2 microorganismos en 100 cm³ de agua. De esta forma se revela contaminación del agua por causa de las bacterias coliformes provenientes de las actividades humanas, la falta de protección vegetal, continuos y progresivos accesos a la corriente y extensas zonas de pastoreo, que sin duda son permanentes rutas que

¹¹⁰ ROLDAN, Gabriel y MACHADO, T. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anori y sus principales afluentes. (1981); Op. cit., p.9.

¹¹¹ ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de limnología neotropical. (1992); Op.cit., p.474-479.

¹¹² BEDOYA, Fernando. Cultura organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco y Buesaquillo del Municipio de Pasto. (2004); Op. cit., p. 59 – 60.

¹¹³ Ibid., p. 59 - 60.

¹¹⁴ MINISTERIO DE SALUD. Decreto No 475 del 10 de marzo. Colombia (1998); Op. cit., p. 43.

generan contacto directo de este grupo con el agua reduciendo el uso potencial del recurso y poniendo en grave riesgo principalmente la salud humana.

Para los Coliformes fecales. *Escherichia coli* es la bacteria indicadora por excelencia del grupo coliforme fecal, debido a su presencia permanente en la flora intestinal del hombre y de los animales de sangre caliente¹¹⁵. Bedoya¹¹⁶, en su estudio denota que la estación I (2950 m), reporta la ausencia de coliformes fecales en los meses de muestreo y que para el punto antes de la bocatoma (estación III, 2800 m); se presenta el valor máximo de 17 microorganismos de coliformes fecales afirmando que a medida que se desciende hacia las estaciones II y III hay una leve contaminación por excretas. Cabe anotar que el anterior estudio es muy restringido en cuanto a las alturas que determinan cada estación dispuesta para la recolección de datos; la toma de muestras, el tiempo transcurrido y las diversas modificaciones en el ecosistema hacen diferencia en los valores de algunos parámetros de análisis entre el estudio de Bedoya y el presente.

Los análisis microbiológicos de esta quebrada demuestra contaminación por bacterias fecales señalando esta fuente de agua inapropiada para el consumo humano arriesgando a la población a graves enfermedades, además de advertir que si hay un crecimiento en el número de UFC de coliformes, el tratamiento de potabilización puede llegar a ser cada vez más exigente y costoso para el alcance socioeconómico del corregimiento y puede darse el caso de necesitar otras fuentes de abastecimiento generando una incontrolada intervención de este primordial recurso para satisfacer la necesidad de agua para las instalaciones del acueducto.

Respecto a la identificación y descripción de fuentes de contaminación, con base en los resultados de los diferentes patrones físico-químicos y biológicos, se dedujo que la zona de trabajo no presenta aguas de buena calidad para diversos usos, excepto el de consumo humano, siendo necesario determinar las fuentes de contaminación que originan este problema si se quiere destinar el agua de esta microcuenca para tal fin.

La vegetación nativa está muy restringida por la intervención humana, sobretodo en los sectores medio y bajo de la microcuenca que a pesar de no ser muy intensa, sí afecta casi la totalidad de las áreas, especialmente a través de prácticas como la tala de árboles que ocasionan pérdida de la fertilidad de los suelos e inclusive la contaminación de las aguas por los residuos y las ocasionales

¹¹⁵ ROMERO, Jairo. Calidad del agua. (2002); Op.cit., p.174.

¹¹⁶ BEDOYA, Fernando. Cultura organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco y Buesaquillo del Municipio de Pasto. (2004); Op. cit., p. 59 – 60.

quemadas que preparan el suelo para una nueva siembra. Esta situación es preocupante si se reflexiona sobre el efecto de protección que este tipo de cobertura ofrece, por lo cual su sucesiva devastación puede causar la inestabilidad de las laderas y perjudica visiblemente la regulación de la cantidad y calidad de las fuentes de agua. Las asociaciones vegetales nativas se limitan a los reductos del bosque primario, especialmente en ciertos sectores de la zona alta y a los procesos de sucesión de tipo secundario que se destacan en las riberas de la corriente, o del mismo modo en áreas intervenidas que fueron desertadas después de acciones de cultivo o pastoreo.

En el diagnóstico de focos de contaminación difusos y puntuales en la microcuenca Genoy – Guaico, se reconocieron los dos tipos de contaminación tanto difusa como puntual. De acuerdo con Gaufin¹¹⁷, establece que las evaluaciones de la contaminación de las aguas son principalmente un problema biológico, debido a que su efecto primario es sobre los organismos vivos.

Contaminación puntual. Las aguas provenientes de viviendas y de pozos sépticos defectuosas son otra fuente importante en zonas rurales, el lavado de los equipos empleados en la preparación y aplicación de pesticidas puede convertirse en una fuente sustancial de contaminación puntual, cuando estas aguas se depositan en sistemas de desagüe que van a parar a los cuerpos de agua en forma directa o indirecta¹¹⁸.

Dentro de este aspecto se encontró como fuente puntual las basuras, donde los tipos de residuos principalmente son plásticos, material difícil de degradar que deteriora las condiciones naturales del cauce. Este lugar por poseer paisajes fascinantes especialmente en la parte media conocida como “piedra laja”, es un punto de interés que genera un número de visitas de propios y ajenos, arrojando a su paso una cantidad de residuos sólidos que llegan fácilmente al agua. Así mismo los sitios de paso, en este sector caracterizado por disponer de caminos transitorios para el acceso de personas, animales bovinos y equinos que acceden al agua para beberla, promoviendo el deterioro del suelo que en peores casos a futuro podrían presentar deslizamientos y desestabilización del terreno. Así mismo las descargas orgánicas directas alteran la calidad del agua, la biodiversidad y el equilibrio ecológico del ecosistema acuático, que a su vez produce sedimentación en lechos de la quebrada. La escasa de cobertura vegetal hace que la desprotección de la microcuenca sea casi total en ciertos sectores facilitando el proceso de avance e intervención.

¹¹⁷ GAUFIN, citado por MATTHIAS, U y MORENO, H. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos en el río Medellín y sus principales afluentes. (1983); Op. cit., p.111.

¹¹⁸ CHARA, Julián. Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Fundación centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria. CIPAV. Santiago de Cali. Colombia. (2003); p.16.

Contaminación difusa. Las fuentes más importantes de este tipo de contaminación son las heces (estiércol y orina) del ganado que se depositan en los potreros¹¹⁹. La ganadería y agricultura. La ganadería, se localiza entre las alturas 2727 a 3214 m abarcando las tres zonas de estudio, estas áreas presentan casi todos los predios y puntos con grandes extensiones de pastos naturales, que en muchos casos están deteriorados. No obstante el desarrollo de la ganadería es extensivo con bajos rendimientos atribuidos a la falta de técnicas para su producción que a su vez son un elemento negativo consecuente para la estabilidad y condiciones de los suelos.

La práctica de esta actividad en las partes altas ha contribuido en la destrucción del bosque y la vegetación nativa para la adecuación de potreros. Cabe anotar que la siembra y tala de especies introducidas como el Eucalipto (*Eucalypto globulus*), es muy apreciable y continua primordialmente hacia las partes medias y bajas de la quebrada con fines de extracción de madera, leña y carbón muy útil para la subsistencia de los pobladores cercanos, como también para los habitantes del corregimiento.

Lo anterior además de ser elemento negativo para la producción del caudal hídrico y la pérdida de las características naturales del suelo, en algunos sectores se mantiene el acceso de equinos y bovinos acentuándose las condiciones necesarias para la ampliación de la frontera ganadera, de igual manera la presencia de abrevaderos para estos animales cerca al hilo hídrico, hace que los animales a su paso alteren la compactación del suelo y contaminen el agua por los sedimentos desprendidos y la escorrentía de los residuos orgánicos introduciendo las peligrosas bacterias fecales.

Entre los agroquímicos la excesiva aplicación de los pesticidas y fertilizantes químicos u orgánicos en dosis superiores a las que pueden asimilar los cultivos y el suelo, causa un impacto mayor cuanto más cerca se este del cuerpo de agua¹²⁰. En la agricultura, según las observaciones hechas en campo los cultivos de preferencia utilizados por los agricultores son la papa, maíz, ulluco y arveja, de poca extensión porque la mayoría de estos son cultivos de pan coger para fines de subsistencia, no sin antes descartar la pérdida de cobertura vegetal ocasionada por la deforestación para el establecimiento de estas áreas. La práctica de quemas que se observan en algunos terrenos, cuyo objeto principal es eliminar malezas para el establecimiento de un nuevo cultivo y el empleo de agroquímicos los cuales mejoran las producciones y/o eliminan las plagas, provocan con su frecuente uso la contaminación del suelo y las fuentes de agua cercanas que por escorrentía se transportan y dispersan aguas abajo, siendo este tipo de sustancias

¹¹⁹ Ibid., p. 15.

¹²⁰ Ibid., p.15.

tóxicas de alta persistencia perjudiciales para la salud humana y el ambiente. Algunos cultivos están a favor de la pendiente muy próximos a la quebrada incrementando los niveles de erosión del suelo, hacia las partes altas los cultivos son instalados en partes de bosques que han sido modificados por esta actividad, siendo este efecto totalmente contrario según la ley 79 del año 1986, por el cual se provee a la conservación del agua.

7. CONCLUSIONES

La deficiencia de métodos adecuados de cultivo provoca bajo rendimiento agropecuario, convirtiendo esta actividad en una fuente de contaminación difusa con deterioro progresivo y constante del agua y del suelo.

Aunque la población no muestra interés por la protección de los recursos, especialmente el agua, la falta de información y educación ambiental es la mayor causa de la degradación de su calidad.

La escasa cobertura vegetal en la zona media y baja de la quebrada y en algunas partes de la alta, propicia el aumento de la temperatura lo que a su vez influye en la disminución de oxígeno y caudal hídrico.

El proceso de deforestación y expansión de la frontera agropecuaria que se manifiesta hacia las zonas altas influye en la disminución del caudal y calidad del agua.

Los análisis microbiológicos indican que hay contaminación en el agua por heces fecales, de no controlar las fuentes de emisión habría un serio riesgo de proliferación de enfermedades para la población beneficiaria.

De acuerdo con el decreto 478 (1998), la microcuenca Genoy – Guaico tiene una buena calidad del agua para diversos usos, pero debe someterse a un cuidadoso y continuo tratamiento de desinfección para coliformes totales y fecales cuando sea destinada para el consumo humano.

Desde el punto de vista físico-químico la calidad del agua se encuentra en buenas condiciones, a pesar de que algunos parámetros como el color, CO₂ y algunos incrementos de la conductividad eléctrica pueden modificar el equilibrio normal del ecosistema. Lo anterior no significa que sea agua potable, ya que los valores relacionados a este uso son los parámetros microbiológicos que se encuentran en rangos inaceptables para tal fin.

Los resultados arrojados por el índice BMWP en términos generales, logra caracterizar a esta corriente como de aguas muy limpias a poco alteradas.

8. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones surgen de la necesidad de la regulación en el manejo de los recursos que se encuentran en permanente intervención y demanda, pretendiendo ser un punto de partida para mejorar las condiciones de vida de los habitantes del sector de estudio, así como para el conocimiento y preservación de sus recursos biológicos, siendo inaplazable nuestro aporte para promover el control y explotación racional de los elementos que integran las corrientes de agua.

Definir las zonas de amortiguación y protección de la microcuenca (a partir de los 3000 m).

Aplicar las diferentes medidas que eviten la contaminación fecal del agua por parte del sector pecuario y la localidad en general.

Seleccionar predios y áreas representativas en la microcuenca para la práctica de acciones conservacionistas como experiencias demostrativas.

Realizar una caracterización vegetal en el nacimiento y zonas riparias de la microcuenca para llevar a cabo planes de reforestación con vegetación nativa de la región.

Se recomienda con la ayuda de profesionales en el área y personas de la región, la plantación de especies vegetales que ayuden a la regulación hidrológica de la quebrada como el Moquillo (*Sauravia pruinosa*), Chilca (*Bacharis odorata*), Aliso (*Alnus sp*) y Encino (*Weinmannia sp*) y que al mismo tiempo brinden opciones de buena y rápida producción agrícola como es el caso de variedades frutales como la mora de castilla (*Rubus glaucus*) entre otras.

Establecer un plan de monitoreo de la calidad de esta fuente a través de un método sencillo, rápido y económico como el uso de bioindicadores acuáticos, a cargo de estudiantes y/o la comunidad interesada, asesorada por la supervisión de expertos.

Crear dentro de la comunidad asociaciones y/o grupos permanentes que velen por el buen estado y control en el manejo de los recursos naturales dentro de la microcuenca, sin esperar la degradación total de la misma.

Aplicar normas sobre la protección en la vegetación y bosque ripario hacia las partes altas de la microcuenca sobre los 3000 m siendo la vegetación un factor limitante para el efecto de la regulación hidrológica, además de ser un banco biótico para la recuperación de la vegetación nativa de este lugar.

Implementar prácticas adecuadas que eviten el desgaste y la erosión del suelo tales como la rotación de potreros, eliminación de prácticas de quema para preparación de pastos y la rotación de cultivos ubicados en topografía no muy abrupta.

Construir abrevaderos que eviten la llegada del ganado a la fuente de agua.

Para el sector agrícola se recomienda la rotación de cultivos, que deben ser ubicados en topografía no muy abrupta evitando así el desgaste y la erosión del suelo.

Fomentar la construcción de instalaciones para la disposición de residuos provenientes de vertimientos de viviendas cercanas a la quebrada, aprovechamientos agrícolas y heces fecales de animales.

Se recomienda la capacitación previa de los agricultores y el control en el uso de pesticidas e insumos químicos en sus cultivos.

Promover actividades para una debida disposición de basuras y residuos sólidos a través del sector educativo impidiendo la contaminación del cauce por estos efectos.

Fomentar proyectos de investigación faunística en la zona de estudio, dada la importancia de algunas especies en la dispersión y propagación de la vegetación, a demás de su aporte para el equilibrio biológico en estas áreas.

Generar proyectos y programas que promuevan la educación ambiental que protejan el medio ambiente y los recursos hídricos donde participe todo el sector comunitario.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MUNICIPAL. Dirección municipal de seguridad social en salud. San Juan de Pasto. Colombia. (2002).

ALCALDÍA MUNICIPAL. Plan de Ordenamiento Territorial. Anuario estadístico. San Juan de Pasto. Colombia. (1988-1990). 240p.

APHA. American public health association. Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho. Water pollution control, federation (wpcf). México. (1998); 1025p.

ASPRILLA, Sonia. MOSQUERA, Zuleyma y RIVAS, Marlenis. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad ecológica del agua en la parte media del río Cabi (Quibdo - Choco). Universidad Tecnológica del Choco. Quibdo. En: Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas. Quindío. Colombia. Vol. 18, (2006); 110p.

BAYONA, Hernando. Manual de laboratorio para análisis de aguas. Insfopal. Bogota. Colombia. (1978); 105p.

BEDOYA, Fernando. Cultura organizativa y participativa en el ordenamiento y manejo de microcuencas de los corregimientos de Genoy, Obonuco y Buesaquillo del Municipio de Pasto. En: Revista Cedre reportes de investigación. San Juan de Pasto. Colombia. Vol. I, (2004); 136p.

BENAVIDES, Nelly. RAMOS, Luz Alba y RIASCOS, Lucila. Análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y de macroinvertebrados de los principales afluentes del río Bobo. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (1993); 118p.

BOHÓRQUEZ, Amparo y ARDILA, Jorge. Estudio de calidad de aguas en cuatro estaciones localizadas en los ríos Barandillas y Frío afluentes del río Bogota. En: Revista científica de UNINCCA. Vol. 3, No. 1. (1997); 39p.

BORROR, Donad y DELONG, Dwight. An introduction to the study of insects. Third edition. NewYork, (1970); 812p.

BUILES, J. ROLDAN, G. TRUJILLO, C y SUÁREZ, A. Efectos de la contaminación industrial y domestica sobre la fauna béntica del río Medellín. En: Actualidades biológicas. Medellín. Vol. 2, No. 5. (1973); 64 p.

CABRERA, Cristina y ROJAS, Carmen. Estudio de la variación de la calidad del agua del río el Ingenio municipio de Sandona mediante parámetros fisicoquímicos

biológicos y bacteriológicos. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2004); 73p.

CABRERA, C y REVELO, Y. Alternativas de aprovechamiento del agua después de la captación, de la quebrada Genoy Guaico Corregimiento de Genoy del Municipio de Pasto. Universidad Mariana. San Juan de Pasto. Colombia. (2005); 96p.

CASTILLO, Guillermo. BACCA, Tito e HIDALGO, Arsenio. Variación de macroinvertebrados acuáticos (índice BMWP) según la calidad del agua en zonas de contaminación y recuperación, en el río Pasto. En: Ponencias XXXVII congreso nacional de ciencias biológicas. Universidad de Nariño. Colombia. (2002); 293p.

CHARA, Julián. Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Fundación centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria. CIPAV. Santiago de Cali. Colombia. (2003); 52p.

COLE, Gerald. Manual de limnología. Buenos Aires. (1998); 407p.

CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL. Manual de métodos y procedimientos. Sistema de monitoreo de áreas forestales del pacifico colombiano. Ministerio del Medio Ambiente. Santa fe de Bogota. Colombia. (1999); 530 p.

EDMONSON, W. T. Fresh water biology. University of Washington. Second edition. (1959); 1248p.

EPLER, T. Identification manual of the water beetles of Florida. (1996); 258p.

FERNANDEZ, H. R. Y DOMÍNGUEZ, E. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Universidad nacional de Tucumán. Vol. 1. Tucumán. Argentina. (2001); 282p.

FERRERO, J. Depuración biológica del agua. Editorial Alhambra. (1974); 218 p.

FREDERICK. Stehr. Inmadure insect. Michigan state university. Vol 2. Kendall/Hunt Publishing Company. 975p.

GÓNGORA, Francisco. Inventario de la entomofauna acuática de la quebrada Padilla, fuente del acueducto de Honda (Tolima). En: Revista Colombiana de entomología. Colombia. Vol. IV, No. 4. (1994); p.123.

HERNÁNDEZ, Ángela Martha de. Claves para el curso de insectos inmaduros. Universidad del valle. Cali. Colombia. (1980); 360p.

HILLEBOE, Herman. Manual de tratamiento de aguas. Departamento de sanidad del estado de Nueva York, Albany. Editores Noriega. México DF. (1991); 205P.

IDEAM. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. El medio ambiente en Colombia. Calidad del recurso hídrico. Colombia. (2001); 24P.

IDEAM. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Calidad ambiental. El medio ambiente en Colombia, calidad del recurso hídrico. Colombia. [Online]. Disponible desde Internet en: <http://www.ideam.gov.co/web/ideam/programa/pfqa/documen/libro0.htm>. Con acceso el 25 de Febrero de 2006.

IDEAM. Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. Parámetros climáticos ambientales. San Juan de Pasto. Colombia. (2005).

JARAMILLO, Juan. Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. En: Revistas ingenierías. Universidad de Medellín. Vol.0, No.1. (2002); 98p.

JIMÉNEZ, Amparo. Declaratoria de impacto ambiental en las aguas superficiales de la microcuenca del río Mijitayo. Especialización en ecología. Escuela de postgrado. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia. (1989); 118p.

JIMÉNEZ, Francisco. Manejo de cuencas hidrográficas I. Curso de maestría. Centro agronómico tropical de Investigación y enseñanza. CATIE. Turrialba. Costa Rica. (2004); 34 p.

LONDOÑO, Rubén. Contaminación del agua y estudio para su evaluación. En: Colombia, sus gentes y sus regiones. No.12. (1998); 252p.

MADROÑERO, Sandra. Manejo del recurso hídrico y estrategias para su gestión integral en la microcuenca Mijitayo, Pasto Colombia. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza CATIE. Turrialba. Costa Rica. (2006); 180p.

MARGALEF, Ramón. Limnología. Edición omega. Barcelona. (1983); 1010p.

MATTHIAS, U y MORENO, H. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos en el río Medellín y sus principales afluentes. En: Actualidades biológicas. Medellín. Vol. 12, No. 46. (1983); 116 p.

MERRIT, Richard y CUMMINS, Kenneth. An Introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company. United States of America (1996); 862p.

MINISTERIO DE SALUD, Decreto No 475 del 10 de Marzo. Colombia. (1998); 20p.

NAVAS, Luís. Curso de fotointerpretación. Interpretación cartográfica de mapas topográficos. Guías. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2003); 20p.

NÚÑEZ, Norbelis. Los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (cuenca del río Gaira, Colombia.) y su relación con la calidad del agua. En: revista acta biológica colombiana. Vol. 8 No.2. (2003); 98p.

PALACIOS, Jhon Arley. Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Bendición, municipio de Quibdo (Choco, Colombia). En: Acta biológica colombiana. Vol. 8, No. 2. (2003); 56p.

PALMA, Alejandro. Bioindicadores de calidad de agua. Santiago de Chile. [Online]. Disponible desde Internet en: <http://www.2.udec.cl/~lpalma/index.html>. Con acceso el 12 de Abril de 2005.

PENNAK. Robber. Fresh water invertebrates of the United States. University of Colorado. The Ronald Press Company. New York. (1953); 769p.

PETERSON, Alvah. An introduction of Nearctic species. Michigan Columbus Ohio. Ohio State University. (1962); 315p.

QUINTERO, Milena. Caracterización limnológica de la quebrada Piacum (Pupiales-Nariño) mediante parámetros físicos-químicos y biológicos. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2005); 98p.

RAMÍREZ, Jhon, CORREA, Margarita y VELÁSQUEZ, Luís. Estudio limnológico de la represa del Peñol. En: Actualidades biológicas. Medellín. Antioquia. Vol. 13, No. 50. (1984); 116p.

ROJAS, Ch. Análisis físico-químico de aguas en métodos normalizados. Programa nacional de calidad de aguas. Universidad del Valle. (1988); 234p.

RODIER, J. Análisis de aguas: aguas naturales, aguas residuales y aguas de mar. Barcelona. España. (1981); 916p.

ROLDAN, Gabriel. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia propuesta para el uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia. (2003); 171p.

ROLDAN, Gabriel y MACHADO, T. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anori y sus principales afluentes. En: Actualidades biológicas. Medellín. Antioquia. Vol. 10, No. 35. (1981); 43p.

ROLDAN, Gabriel. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia, Medellín. Colombia. (1992); 523p.

_____. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia. (1996); 217p.

_____. Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. Universidad de Antioquia. Medellín. (1992); 31p.

_____. Manual de limnología guía teórico- práctico. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. (1987); 214p.

ROLDAN, Gabriel; POSADA, José y GUTIÉRREZ, Juan. Estudios limnológicos de los recursos hídricos del parque de piedras blancas. Bogota. (2001); 152p.

ROMERO, Jairo. Calidad del agua. Escuela Colombiana de ingeniería. Santa Fe de Bogota. Colombia. (2002); 410p.

RUEDA, Guillermo. Manual de métodos en limnología. Asociación colombiana de limnología. ACL-limnos. (2002); 68p.

SALAZAR, Roberto. Teoría y diseño de los tratamientos de aguas residuales. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia. (2002); 362p.

SÁNCHEZ, Mario y PEREA, Jairo. Estudio de calidad del agua y relaciones ecológicas en quebradas del sur del Huila. Universidad Surcolombiana. Huila. Colombia. (1989); 210p.

SÁNCHEZ, A y PIMENTEL, L. Caracterización de la cuenca vista hermosa y perspectivas para su manejo En: Revista de Chapingo. México. Vol. 15, No. 75. (1991); 138p.

TEBBUTT, H. Fundamentos de control de la calidad del agua. Universidad de Birmingham. México. (1997); 233p.

ALBA-TERCEDOR, Javier. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. Granada. [Online]. Disponible desde Internet en: <http://www.geocities.com/collegetpark/classroom/7320/monografía.htm>. Con acceso el 14 marzo 2003.

VERGARA, Rodrigo y GÓNGORA, Francisco. Inventario de la entomofauna acuática de la quebrada Padilla, fuente del acueducto de Honda (Tolima). En: Revista colombiana de entomología. Vol. 20, No. 2. (1994); 210p.

VERWEIJ, Michiel. A propósito del caudal ecológico. Bolivia. [Online]. Disponible desde Internet en: http://www.aguabolivia.org/ExportacionAguas/Caudal_Eco.htm. Con acceso el 23 de Marzo de 2006.

WETZEL, Robert. Limnología. Barcelona. (1981); 688P.

WIKIPEDIA. El ecosistema acuático. Ciencias de la tierra. España. [Online]. Disponible desde Internet en: http://es.wikipedia.org/wiki/Ecosistema_acu%C3%A1tico. Con acceso el 12 de Agosto de 2006.

YAQUENO, Francisco y ARGOTHY, Miguel. Estado del componente hídrico, cobertura vegetal y usos del suelo de la microcuenca alta del río Salado (quebrada la Tebaida en el municipio de Chachagüí- Nariño). Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. (2005); 103p.

ZÚÑIGA de Cardoso, HERNÁNDEZ, Ángela y CAICEDO, Guadalupe. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. En: AINSA. Medellín. Antioquia. Vol. XIII, No. 2. (1993); 87p.

ANEXOS

Anexo A. Taxonomía de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos encontrados en la quebrada Genoy – Guaico.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Artrópoda	Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	Phylloicus	
			Leptoceridae	Grumichella Triplectides Leptocerus Atanatolica	
			Hydropsychidae	smicridea	
			Odontoceridae	Marilia Baryphentus	
			Hydrobiosidae	Atopsyche	
			Limnephilidae	Anomalocosmo ecus	
			Glossosomatidae	Mortoniella	
			Hydroptilidae	Ochotrichia	
			Helicopsychidae	Boreales	
		Coleoptera	Elmidae	Heterelmis Cylloepus Stenelmis Microcilloepus Cleptelmis	
			Ptilodactylidae	Anchytarsus	
			Scirtidae	Prionocyphon	
			Gyrinidae	Dineutus	
			Elateridae	Sericus	
			Psephenidae	Psephenops	
			Staphylinidae	Stenus	
			Curculionidae		
		Diptera	Tipulidae	Tipula Molophilus Limnophila Ormosia Hexatoma Prionocera Limonia	
			Chironomidae	Ablabesmyia Orthocladius	
			Simuliidae	Simulium	
			Empididae	Chelifera Clinocera	
			Ceratopogonidae	Stillobezzia	
			Tabanidae	Tabanus Chrysops	
			Muscidae	Limnophora	
			Dolichopidae	Dolichopus	

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Artropoda	Insecta	Diptera	Dixidae	Dixella	
			Blepharoceridae	Paltostoma	
		* Ephemeroptera	Baetidae	Andesiops Baetodes	sp levis
			Leptophlebiidae	Thraulodes	albipenis coconuco
			Leptohyphidae	Leptohyphes Leptohyphes	
		Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	
		Odonata	Aeshnidae		
		Lepidoptera	Pyralidae		
		Hemiptera	Veliidae		
	Crustacea	Amphipoda	Hyaellidae	Hyaella	
		Isopoda	Porcellanidae Oniscidae		
	Arachnoidea	Acari	Hydrachnidae		
Mollusca	Bivalvia	Heterodonta	Sphaeniidae		
	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	Gyraulus	
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Haplotaxidae		
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	

* Los macroinvertebrados acuáticos del orden Ephemeroptera se lograron identificar hasta nivel taxonómico de especie.

Anexo B. Fotografías de géneros de macroinvertebrados acuáticos encontrados en la microcuenca Genoy - Guaico

Anacroneuria sp.



Atopsyche sp.



Dugesia sp.



Aeshna sp.



Anchytarsus sp



chrysops sp



Hyaella sp



Andesiops sp



Triplectides sp



Smicridea sp



Tipula sp



Phylloicus sp

