

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LA QUEBRADA
AGUA CLARA, MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y DE LA
COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN EL MUNICIPIO
DE SANTANDER DE QUILICHAO – CAUCA**

CAMILO ALFONSO ALEGRIA SOLIS



**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE ECOLOGÍA
POPAYÁN CAUCA**

2018

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LA QUEBRADA
AGUA CLARA, MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y DE LA
COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN EL MUNICIPIO
DE SANTANDER DE QUILICHAO – CAUCA**

CAMILO ALFONSO ALEGRIA SOLIS

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ecólogo

DIRECTOR

Mg. DANIEL ANDRES FERIZ GARCÍA

BIÓLOGO DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

PROGRAMA DE ECOLOGÍA

POPAYÁN CAUCA

2018

AGRADECIMENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por permitir tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, gracias a mis padres, hermanos e hijos por darme la fuerza que se necesita para escalar en ámbito profesional, gracias a mi universidad por permitir convertirme en un profesional en lo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación y finalmente gracias a cada una de esas personas que de una u otra forma hicieron parte de este proceso.



FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN
35 ANIVERSARIO

FUNDACION UNIVERSITARIA DE POPAYAN
PROGRAMA DE ECOLOGÍA


ACTA DE SUSTENTACIÓN PRIVADA

Siendo las 1:00 pm, del día 29 de noviembre del 2018 fueron convocados en el auditorio en la sede Los Robles, los jurados: Guillermo Alberto Vélez y Arnold Arias, en calidad de pares evaluadores del proyecto de grado denominado, "ESTUDIO COMPARATIVO DEL ESTADO ECOLOGICO DE LA QUEBRADA AGUA CLARA MEDIANTE PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y DE LA COMUNIAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS EN EL MUNICIPIO DE SANTADER DE QUILICHAO, CAUCA", presentado por el estudiante, Camilo Alfonso Alegría y asesorado por el Biólogo Andrés Feriz García.

El trabajo se considera:

Para constancia se firma a los 29 de noviembre del 2019.


Guillermo Alberto Vélez


Arnold Arias



Oficina Administrativa: Calle 60, San José, Cra. 5 No. 245 - Los Robles, Km 8 vía al sur
Sede Norte del Cauca: Cra. 4 No. 1040 Semanario de Quilichao

Popayán, Cauca, Colombia

PBX (+57) 8520325 | www.fup.edu.co | Fundación Universitaria de Popayán



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
4. JUSTIFICACIÓN.....	18
5. OBJETIVOS.....	19
5.1 Objetivo General.....	19
5.2 Objetivos Específicos.	19
6. MARCO TEÓRICO	20
6.1 Calidad del Aguas.....	20
6.2 Calidad Biológica.	20
6.3 Estado ecológico del agua.....	20
6.4 Calidad Ecológica.	20
6.5 La Contaminación del Agua.....	21
6.6 Índices de contaminación (ICO)	21
6.7 Indicadores Biológicos.....	23
6.8Indicadores Microbiológico.	23
6.8.1 Coliformes.	23
6.9 Índice BMWP	24
6.10 Medición de la Diversidad Alfa	26
6.10.1 Riqueza específica	26
6.10.2 Índices de Diversidad	27
6.11 DIVERSIDAD BETA.	28
6.11.1 Índice de similitud de Jaccard (coeficiente de similitud I,)	28
6.12 Parámetros Físicoquímicos	28
7 ANTECEDENTES.....	29
8 MARCO REFERENCIAL.....	31
8.1 Área de estudio.....	31

8.2 Aspectos Ambientales	32
9 MARCO METODOLÓGICO	33
9.1 Recopilación de Información Primaria.	33
9.2 Recopilación secundaria.....	33
9.3 Determinación de las zonas de muestreo.....	33
9.4 Toma de muestras biológicas, microbiológicas y análisis fisicoquímico.	35
9.4.1 Fase de campo.....	35
9.5 Fase de laboratorio.....	37
9.5.1. Componente biológico con base en los macroinvertebrados acuáticos.	37
9.6 Componente fisicoquímico.	38
9.7 Componente Microbiológico	39
9.7.1 Prueba Presuntiva.	39
9.7.2 Prueba Confirmativa.....	40
10 RESULTADOS Y ANÁLISIS	42
10.1. ESTACIONES DE MUESTREO	42
10.2 Parámetros fisicoquímicos.....	42
10.2.1. Oxígeno Disuelto.	43
10.2.2. Oxígeno Saturado.	44
10.2.3. DBO5.....	46
10.2.4. Temperatura.....	47
10.2.5. Nutrientes.	49
10.2.6. Amonio.	51_Toc529544110
10.2.7. Iones.....	52
10.2.8. Conductividad.....	54_Toc529544113
10.2.9. Solidos Suspendidos Totales.	55
10.2.10. Turbidez.	57
10.2.11.	58
pH.....	58
10.3 Índices de Contaminación (ICO).....	59
10.3.1 Índice de contaminación por mineralización: ICOMI.....	59

10.3.2 Índice de Contaminación por Materia Orgánica ICOMO	60
10.3.3. Índice de Contaminación por Solidos Suspendidos ICOSUS	60
10.3.4. Índice de Contaminación por Trofia ICOTRO	61
10.4. Macroinvertebrados acuáticos	61
10.4.1 Estaciona de muestreo # 1	62
10.4.2. Estación de muestreo # 2	63
10.4.3. Estaciona de muestreo # 3	64
10.5. Riqueza.	65
10.6. Abundancia.....	69
10.7. Índice BMWP.....	71
10.8 Análisis Microbiológicos.....	74
10.9. Índices Ecológicos.	75
10.9.1 Similaridad de Jaccard	76
10.10. Resultado de la encuesta.	77
11. CONCLUSIONES	81
12. RECOMENDACIONES	83
13. BIBLIOGRAFÍA	84
14. ANEXOS	88

LISTAS DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Promedio del comportamiento de Oxígeno Disuelto en las tres estaciones de muestreo.	42
Tabla 2. Promedio del comportamiento de Oxígeno Disuelto durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	43
Tabla 3. Promedio del comportamiento de Oxígeno Saturado en las tres estaciones de muestreo.	44
Tabla 4. Promedio del comportamiento de Oxígeno Saturado, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	44
Tabla 5. Promedio del comportamiento de DBO en las tres estaciones de muestreo.	45
Tabla 6. Promedio del comportamiento de DBO, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	46
Tabla 7. Promedio del comportamiento de la Temperatura en las tres estaciones de muestreo.	47
Tabla 8. Promedio del comportamiento de la Temperatura, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	47
Tabla 9. Promedio del comportamiento de Nutrientes en las tres estaciones de muestreo.	48
Tabla 10. Promedio del comportamiento de Nutrientes, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	48
Tabla 11. Promedio del comportamiento de Amonio en las tres estaciones de muestreo.	50
Tabla 12. Promedio del comportamiento de Amonio, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	50
Tabla 13. Promedio del comportamiento de los Iones en las tres estaciones de muestreo.	51
Tabla 14. Promedio del comportamiento de los Iones, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	52
Tabla 15. Promedio del comportamiento de Conductividad en las tres estaciones de muestreo.	53
Tabla 16. Promedio del comportamiento de Conductividad, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	54
Tabla 17. Promedio del comportamiento de Solidos Suspendidos en las tres estaciones de muestreo.	55

Tabla 18. Promedio del comportamiento de Solidos Suspendidos, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	55
Tabla 19. Promedio del comportamiento de Turbidez en las tres estaciones de muestreo.	56
Tabla 20. . Promedio del comportamiento de Turbidez, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	57
Tabla 21. Promedio del comportamiento de pH en las tres estaciones de muestreo.	58
Tabla 22. Promedio del comportamiento de pH, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.	58
Tabla 23. Riqueza total de Phylum, Clase, Orden, Familia y Género de Macroinvertebrados acuáticos encontrados en la quebrada Agua Clara.	65
Tabla 24. Riqueza de órdenes, familias y géneros de Macroinvertebrados acuáticos presente en la quebrada.	66
Tabla 25. Riqueza de órdenes, familias y géneros de Macroinvertebrados acuáticos durante los 4 meses de muestreo.	67
Tabla 26. Abundancia de los individuos de Macroinvertebrados presentes en las 3 estaciones de muestreo.	69
Tabla 27. . Porcentaje de abundancia de los Órdenes de Macroinvertebrados acuáticos presente en la quebrada.	70
Tabla 28. Abundancia relativa de las familias de Macroinvertebrados acuáticos presentes en la 3 estaciones.	71
Tabla 29. Número Más Probable (N.M.P) en las tres estaciones.	74
Tabla 30. Promedio de los índices ecológico de las tres estaciones	75
Tabla 31. Similaridad de Jaccard en las tres estaciones de muestreo	76
Tabla 32. Manejo de los residuos sólidos en el área de estudio.	77
Tabla 33. Viviendas con servicio de Alcantarillado	78
Tabla 34. Promedio de viviendas que desarrollan actividades agropecuarias.	79
Tabla 35. Promedio de viviendas que consumen agua de la quebrada.	80

LISTAS DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico – BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System).....	24
Cuadro 2. Clase, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP.....	26
Cuadro 3. Referencias de las estaciones con sus respectivas coordenadas y alturas.....	42
Cuadro 4. Categorías de contaminación para cada uno de los ICO empleados. ..	59
Cuadro 5. Resultados finales para determinar el ICOMI.....	59
Cuadro 6. Resultados finales para el ICOMO.....	60
Cuadro 7. Resultado final determinación ICOSUS.....	61
Cuadro 8. Determinación del ICOTRO.....	61
Cuadro 9. Macroinvertebrados acuáticos hallados en la estación 1 de la quebrada agua clara.....	62
Cuadro 10. Macroinvertebrados acuáticos hallados en la estación 2 de la quebrada agua clara.....	63
Cuadro 11. Macroinvertebrados acuáticos hallados en la estación 3 de la quebrada agua clara.....	64
Cuadro 12. Valores de BMWP/Col para las familias encontradas en cada estación de muestreo de la quebrada Agua Clara.....	72
Cuadro 13. Valores de BMWP/Col para las familias encontradas durante los 4 meses de muestreo.....	73
Cuadro 14. Índices Ecológicos Quebrada Agua Clara.....	75
Cuadro 15. Matriz de impacto ambiental de la quebrada Agua Clara.....	80

LISTAS DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1. Mapa ubicación de la quebrada agua clara, Santander de Quilichao ...	31
Imagen 2. Parte alta de la quebrada Agua Clara sector Villa Colombia	33
Imagen 3. Parte media de la quebrada Agua Clara sector Campito	34
Imagen 4. Parte baja de la quebrada Agua Clara sector Puente Panamericano ...	34
Imagen 5. Captura de macroinvertebrados acuáticos.....	36
Imagen 6. Toma de parámetros fisicoquímicos (Oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura hidria, conductividad y solidos disueltos totales)	37
Imagen 7. Identificación de macroinvertebrados acuáticos	38
Imagen 8. Análisis de muestras fisicoquímicas.....	39
Imagen 9. Preparación de las muestras microbiológicas con caldo lactosado.	39
Imagen 10. Confirmación de organismos formadores de gas por la fermentación de la lactosa.....	40

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Factores ambientales relacionados con la contaminación de la quebrada Agua Clara.....	88
Anexo 2. Valores promedios obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en cada una de las tres estaciones durante los 4 meses de muestreo.	89
Anexo 3. Valores promedios obtenidos para los parámetros fisicoquímicos durante los cuatro meses de muestreo M1, M2, M3 y M4 de la quebrada clara.....	90
Anexo 4. Valores obtenidos en cada estación durante los 4 meses de muestreo.	91
Anexo 5. Requisitos para la preservación de muestras de agua según los parámetros correspondientes.	93
Anexo 6. Cadena de Custodia.	95

RESUMEN

Con el objeto de comparar el estado Ecológico de la quebrada Agua Clara, se analizaron en este trabajo la comunidad de Macroinvertebrados acuáticos, algunos parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y las actividades antrópicas con base en la matriz de impacto ambiental de Leopold.

La toma de muestras se efectuó por estaciones de muestre, mediante una red surber con un ojo de malla de malla de 500 μ m aproximadamente, los individuos colectados fueron conservados en frascos con alcohol al 70% y posteriormente se identificaron. Se determinó la riqueza, abundancia e índices ecológicos como el de diversidad de Margalef, Simpson y Shannon-Weaver, además se comparó la comunidad mediante el similitud de similitud de Jaccard y la calidad biológica del agua mediante el índice BMWP – Biological Monitoring Working Party System (Zamora, 2007).

Los resultados obtenidos indican el efecto causado por los vertimientos de aguas residuales provenientes de las viviendas y de actividades ganaderas y pecuarias que se ejercen en la zona. El punto de muestreo más diverso fue en la estación 1 con 8 órdenes, 12 familias y 12 géneros, de las cuales 11 familias se clasifican por pertenecer a aguas muy limpias y 3 familias aguas contaminadas según el índice BMWP/c, la mayor riqueza de órdenes, familia y géneros se presentó en la estación 1 con un total de 8 ordenes, 12 familias y 12 géneros, ya que en esta estación los niveles de contaminación fueron más bajos, en la estación 2 se registró el mayor número de individuos colectados (701 Ind) durante la época de estudio, siendo Leptonema el más abundante con (382 Ind), seguido de Physa con (237 Ind), en la E1 se registró la menor taxa de individuo colectado por especie las estaciones de muestreo más similares entre sí fueron la estación 2 y 3 con una similitud del 44%.

En cuanto a los índices ecológicos, no mostraron contaminación en su mayoría no mostraron contaminación excepto ICOTRO donde las concentraciones promedio de fosforo total que se registraron en la quebrada fue de 0.02, el cual la clasifica como aguas mesotróficas. Las estaciones de muestreo mostraron características diferentes en cada una de ellas, clasificándose en Oligotrófica para la estación 1, Mesotróficas en la estación 2 y Eutrófica en la estación 3.

En general, los parámetros fisicoquímicos que se midieron están dentro de los rangos permitidos para el buen desarrollo de fauna acuática y para el consumo humano, con alguna excepción como el oxígeno disuelto que valores bajos (4.9mg/L) lo cual podría causar algún tipo de estrés en la biota acuática.

La aplicación del índice BMWP/Col que se utilizó para el análisis del agua de la quebrada Agua Clara durante los 4 meses de ejecución en campo del presente proyecto, que se desarrolló desde el mes de Junio hasta el mes de Septiembre del 2017, reportó 14 familias de Macroinvertebrados acuáticos, de los cuales 6 pertenecen a aguas muy limpias, 5 a aguas medianamente contaminadas y 3 a aguas contaminadas, de las tres familias características de aguas contaminadas dos se reportaron en las tres estaciones de muestreo como es el caso de la familia Thiaridae y Physidae. La presencia de estas especies particularmente en la estación 1 obedece al amplio rango de tolerancia que caracteriza estos órdenes y al tipo de microhábitats donde se desarrollan.

Palabras clave: estado ecológico, macroinvertebrados acuáticos, índices ICO, coliformes totales, físico-química, BMWP.

1. INTRODUCCIÓN

El agua, elemento vital y de mucha importancia en la dinámica de las sociedades humanas y de todas las comunidades biológica, hace parte esencial de la construcción de la biosfera y fundamenta los procesos productivos naturales siendo determinante al condicionar el desarrollo de las actividades socioeconómicas en el espacio y en el tiempo (Cardona, 2006).

Sin embargo, a pesar que constituyen una fuente de abastecimiento para el uso doméstico, industrial recreativo, en las últimas décadas el rápido crecimiento poblacional, la industrialización y urbanización, han provocado un paulatino aumento de las presiones sobre los recursos hídricos, y una degradación de los mismos (Walteros y Paiba, 2010).

El deterioro de los recursos se debe en gran parte a los patrones de consumo y los modos de producción que se establecen y promueven en pequeña y grandes escalas. Es por esto que se han tomado diferentes criterios biológicos que permitan estimar el efecto de las intervenciones humanas en los ecosistemas acuáticos con el ánimo de prevenir y conservar dichos recursos en el espacio y en el tiempo (Guzmán, 2013).

Los parámetros fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos son de gran ayuda en la identificación del estado ecológico de un cuerpo de agua, los indicadores biológicos, son organismos que su manera, presencia o mayor o menor abundancia nos indica alguna condición en el ecosistema, como el grado de contaminación (Ladera et al, 2013), los indicadores microbiológicos, son utilizados para reflejar el riesgo de la presencia de agentes productores de enfermedades (Marchand, 2002), el cual nos advierte de los riesgos en los que se encuentra determinada comunidad, en cuanto a los indicadores fisicoquímicos, estos hacen referencia a todo aquellos factores ambientales que influyen en la estabilidad y productividad de un ecosistema y que influirán en el proceso de la utilización del agua (Roldan 1992).

En los últimos años las características físicas de la quebrada Agua Clara ubicada en Santander de Quilichao han cambiado por el aporte de fuentes contaminantes, a consecuencia de actividades productivas como porcícolas y avícolas, dando origen a un deterioro de calidad del recurso hídrico. La construcción descontrolada de vivienda alrededor de la parte baja de la quebrada, se ha convertido en un foco de contaminación constante debido a la carencia de saneamiento básico como es la falta de alcantarillado y de servicios de aseo, lo que hace que todos los residuos sólidos y los vertimientos de las aguas residuales de las vivienda se hagan de forma directa a la quebrada, generando malos olores y provocando deterioro en la salud de las personas debido al incremento de enfermedades diarreicas y de tipo viral especialmente en la comunidad infantil de esta zona.

Por lo tanto, este trabajo determinó el estado ecológico de la quebrada Agua Clara, el cual se encuentra en condiciones aceptable, las características fisicoquímicas y microbiológicas actuales del ecosistema sirven como hábitat propicio para el buen desarrollo de muchas especies. Este trabajo se basó principalmente en cuatro criterios: la evaluación con los Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua, el cual nos permitió evaluar el estado ecológico de forma rápida mediante el uso del índice BMWP/c, el análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológico y la identificación de los tensores antrópicos que se encuentran relacionados con el área de estudio.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ecosistema acuático es el resultado de la interacción de los organismos que allí viven con la calidad fisicoquímica y la calidad microbiológica del agua, la atmosfera y el medio terrestre que lo rodea. El agua es el compuesto más abundante sobre la tierra, posee unas características físicas y químicas que la hacen fundamental y única para el desarrollo de la vida tal como se conoce en el planeta. (Roldan 2003).

La quebrada Agua Clara atraviesa en su recorrido el casco urbano del municipio de Santander de Quilichao por el costado Sur-Occidental a Occidente en 7132.27m de longitud aproximadamente y es alimentada por dos cuerpos de agua que la intersectan a la altura del barrio Nariño (Ortiz, 2012).

En los últimos años las características físicas de la quebrada Agua Clara ubicada en Santander de Quilichao han cambiado por el aporte de fuentes contaminantes, a consecuencia de actividades productivas como porcícolas y avícolas, dando origen a un deterioro de calidad del recurso hídrico. La construcción descontrolada de vivienda alrededor de la parte baja de la quebrada, se ha convertido en un foco de contaminación constante debido a la carencia de saneamiento básico como es la falta de alcantarillado y de servicios de aseo, lo que hace que todos los residuos sólidos y los vertimientos de las aguas residuales de las vivienda se hagan de forma directa a la quebrada, generando malos olores y provocando deterioro en la salud de las personas debido al incremento de enfermedades diarreicas y de tipo viral especialmente en la comunidad infantil de esta zona.

De esta manera, nace la necesidad de adelantar un estudio comparativo del estado ecológico de la parte alta, media y baja de la quebrada Agua Clara, mediante los parámetros fisicoquímicos y de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, utilizando como bioindicadores, de la calidad del agua, para el planteamiento y manejo conservacionista de la quebrada, ya que estos organismos reflejan las características del medio donde viven y son sensibles a cambios ambientales.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo varía el estado ecológico entre la parte alta, media y baja de la Quebrada Agua Clara teniendo en cuenta el grado de intervención antrópica que sufre la quebrada?

4. JUSTIFICACIÓN

La fauna bentónica representa un considerable e importante papel en los ecosistemas loticos, proporcionando valiosa información en el momento de realizar el seguimiento a estos tipo de ecosistema, además permiten calcular y medir procesos de cambio, actuando estos como testigos del nivel de deterioro ambiental de los ecosistemas acuáticos, con las posibilidades de buscar soluciones de manera adecuada para garantizar la permanencia de estos ambientes y su funcionalidad a través del tiempo (Montilla, 2012).

Respecto a información de la quebrada Agua Clara solo existen reportes bibliográficos del año 2012, fecha en la cual se realizó un Diagnostico Ambiental de los vertimientos de Aguas Residuales y el Diseño de Alternativas de Solución Sobre la Quebrada Agua Clara, por esto nace la necesidad de adelantar estudios de tipo ecológicos y de conservación de la fuente hídrica, que sirvan como antecedentes a futuras investigaciones, de igual manera, el proyecto de investigación busca servir como respaldo tangible de las condiciones biológicas y fisicoquímicas del agua, para el momento en que se requieran tomar decisiones por parte de los entes encargados para la conservación de estos ecosistemas, al mismo tiempo estos estudios son de gran importancia ya que nutren la base de datos del departamento, y sirve como aporte a la ciencia para hacer vigilancia y seguimientos de la calidad de estos ecosistemas a través del tiempo.

De igual manera, la realización del proyecto beneficiara a toda la comunidad del municipio de Santander de Quilichao y de las veredas por donde sigue su curso la quebrada, puesto que se tendrán nuevos datos bibliográficos que podrían ser útiles para las autoridades ambientales del municipio que podrían tomar decisiones importantes a través de estos, y también se formularan algunas alternativas para la conservación de la quebrada y su área de influencia, permitiendo generar conciencia en la población y también sirve para tener herramientas de información al momento de tomar acciones correctivas tempranas y a futuras investigaciones que se deseen realizar en el área de estudio.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General.

Establecer el estado ecológico de la parte alta, media y baja de la quebrada Agua Clara, mediante los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

5.2 Objetivos Específicos.

- Identificar los factores antrópicos que afectan a la quebrada y las condiciones sociales del entorno.
- Determinar la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Agua Clara.
- Establecer la calidad del agua de la quebrada a través de los índices BMWP, de contaminación de agua (ICOMI, ICOMO, ICOSUS Y ICOTRO) y la calidad microbiológica.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Calidad del Aguas

Según (Zamora 2007), el termino calidad en general, se refiere al conjunto de características, cualidades, rangos distintivos, nivel de excelencia etc., que presentan los seres o cosas, las cuales permiten de alguna forma evaluarlos. Por eso cuando nos referimos al agua, evaluamos entonces sus características físicas, químicas y biológicas, en estas últimas se incluye fauna y flora ambas en sus componentes micro y macro. Sin embargo, en este caso el concepto se torna complejo y relativo, en el sentido que debe aclararse al hablar de una buena o mala calidad del agua, el objetivo de la evaluación o la utilización final del recurso

6.2 Calidad Biológica.

En un ecosistema acuático, está determinada por la dominancia de las poblaciones de organismos adaptados, característicos, o propio de la calidad de sus aguas, los cuales utilizamos como bioindicadores bien sea cualitativamente o cuantitativamente, según el índice que se aplique (Zamora 2007).

6.3 Estado ecológico del agua

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad del agua que se ha venido utilizando tradicionalmente, ya que mientras la calidad del agua expresa la mayor o menor potencialidad o aptitud del agua para dedicarla a un uso determinado (bebida, baño, riego, consumo, recreación riego, etc.), el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales (Ruza, 2008).

Se trata también, de evaluar las poblaciones de organismos asociados al agua y determinar el grado de alteración de estas. En la medida en que la fauna y la flora sean “parecidas” a las correspondientes a este tipo de ecosistemas en condiciones naturales y estas se encuentren bien estructuradas, podremos determinar que la masa de agua en cuestión se encuentra en buen estado ecológico. Si por el contrario ha existido algún tipo de alteración, la composición y estructura de los organismos se verá afectada y el estado ecológico será peor (Corrochano, 2007).

6.4 Calidad Ecológica.

Está determinada por el nivel de estabilidad (Homeostasis) del ecosistema en un momento determinado, en relación con su estado homeostático normal. Evalúa entonces, los efectos de las sustancias extrañas sobre la estabilidad de los ecosistemas (Zamora 2007).

6.5 La Contaminación del Agua.

Se puede definir como la adición por parte del hombre de materiales o energía calorífica en cantidades que causan alteraciones indeseables del agua.

La contaminación resulta de muy variados actos, desde derrames inadvertidos y accidentales hasta descargas tóxicas con intenciones delictivas. Cualquiera que sea la causa, la contaminación es un subproducto de las actividades económicas y sociales, tales como: cultivos, construcción de hogares, suministro de energía y transporte, manufactura de artículos, aprovechamiento de la energía atómica y nuestras funciones biológicas básicas (excreciones) (Barba 2002).

6.6 Índices de contaminación (ICO)

Según Cortolima (2006), los índices de contaminación son complementarios, en sentido ecológico, por tanto, permiten precisar problemas ambientales específicos y con ello profundizar en la identificación de taxones con potencial indicador.

Estos índices, fueron desarrollados a partir del análisis de componentes principales (ACP) aplicado a información fisicoquímica resultante de diferentes estudios limnológicos, propuestos a partir de la experiencia acumulada en programas de monitoreo hidrobiológicos, implementados por la industria petrolera en Colombia (Ramírez et al 1997).

Los índices son de gran utilidad, ya que evalúan el nivel de contaminación del agua mediante la agrupación de variables fisicoquímicas que denotan la misma condición ambiental (Torres et al 2009).

Índice de contaminación por mineralización: ICOMI

El ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 - 1; índices próximos a cero (0) reflejan muy baja contaminación por mineralización, e índices cercanos a uno (1), lo contrario (Ramírez *et al*, 1997).

$$\text{ICOMI} = 1/3 (I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}})$$

I_{CONDUCT}: Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$- \text{Log}_{10} I_{\text{Conduct.}} = -3.26 + 1,34 \text{ Log}_{10}. \text{ Conductividad } (\mu\text{S/cm}).$$

$$- I_{\text{Conduct.}} = 10^{\text{Log. I. Conduct.}}$$

- Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$, tienen un índice de conductividad = 1

I_{DUREZA}: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$-\text{Log}_{10} I_{\text{Dureza}} = - 9,09 + 4,40 \text{ Log}_{10}. \text{ dureza } (\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$$

$$-I_{\text{Dureza}} = 10^{\text{Log. I. Dureza}}$$

-durezas mayores a $110 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ tienen $I_{\text{Dureza}} = 1$

-durezas menores a $30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ tienen $I_{\text{Dureza}} = 0$

ALCALINIDAD: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$I_{\text{Alcal.}} = -0,25 + 0,005 \text{ alcalinidad (g}\cdot\text{m}^{-3})$

-Alcalinidad mayores a $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ tiene $I_{\text{Alcal.}} = 1$

-Alcalinidad mayores a $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ tiene $I_{\text{Alcal.}} = 0$

Índice de contaminación por materia orgánica: ICOMO

El ICOMO, al igual que el ICOMI, es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas (Ramírez *et al*, 1997).

$\text{ICOMO} = 1/3 (I_{\text{DBO}} + I_{\text{Coliformes totales}} + I_{\text{Oxígeno \%}})$

I_{DBO} : se obtiene de la siguiente expresión:

$I_{\text{DBO}} = -0,05 + 0,70 \text{ Log}_{10} \text{ DBO (g}\cdot\text{m}^{-3})$

.DBO mayores a $30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ tienen $I_{\text{DBO}} = 1$

.DBO menores a $2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

$I_{\text{COL. TOT.}}$: Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$I_{\text{COL. TOT.}} = 1,44 + 0,56 \text{ Log}_{10} \text{ Col. tot. (NMP}\cdot\text{100cm}^{-3})$

.Coliformes totales mayores a $20.000 \text{ NMP}\cdot\text{100cm}^{-3}$ tienen $I_{\text{COL. TOT.}} = 1$

.Coliformes totales menores a $500 \text{ NMP}\cdot\text{100cm}^{-3}$ tienen $I_{\text{COL. TOT.}} = 0$

$I_{\text{Oxígeno \%}}$: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$I_{\text{Oxígeno \%}} = 1 - 0,01 \text{ oxígeno \%}$

.Oxígenos (%) mayores a 100 % tienen $I_{\text{Oxígeno \%}} = 0$

Es importante señalar, que de manera general en los sistemas loticos el porcentaje de saturaciones mayores a 100% son ventajosos o indicativos de una muy buena capacidad de reaireación de los cursos hídricos. Para los sistemas lenticos pueden reflejar graves problemas de eutrofización, por lo que sería aconsejable realizar determinaciones tanto en el día como en la noche.

Índice de contaminación por sólidos suspendidos: ICOSU

ICOSUS = $0,02 + 0,003$ sólidos suspendidos ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

.Sólidos suspendidos mayores a $340 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ tienen ICOSUS = 1

.Sólidos suspendidos menores a $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ tiene ICOSUS = 0

Índice de contaminación trófico: ICOTRO

El ICOTRO se fundamenta en la concentración del fósforo total. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta a saber:

Oligotrófico $< 0,01$ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Mesotrófico $0,01 - 0,02$ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Eutrófico $0,02 - 1$ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Hipereutrófico >1 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

6.7 Indicadores Biológicos

Son organismos que su manera, presencia o mayor o menor abundancia nos indica alguna condición en el ecosistema, como el grado de contaminación (Ladera et al, 2013). En este trabajo se utilizaron los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de aguas.

6.8 Indicadores Microbiológico.

Un indicador microbiológico se refiere a los microorganismos no patógenos pero frecuentemente asociados a éstos, utilizados para reflejar el riesgo de la presencia de agentes productores de enfermedades (Marchand, 2002).

Como la presencia e identificación de todos los microorganismos de una muestra sería un proceso muy largo y costoso, se eligen algunos microorganismos indicadores basándose en estudios anteriores realizados acerca de la contaminación de aguas, que pueden causar serios problemas de salud en las poblaciones (Cabrera, 2006).

6.8.1 Coliformes.

La determinación de coliformes totales es muy utilizado para la evaluación de calidad de agua, pues se constituye como buenos indicadores de contaminación humana o animal, sobretodo porque su densidad en agua disminuye en la misma proporción que las bacterias patogénicas intestinales (Espindula, 2004).

Los coliformes son un grupo muy heterogéneo de bacterias y está representado por bacterias de los géneros *Escherichia ssp.* (Coliformes fecales o intestinales),

Citrobacter ssp., *Enterobacter ssp.*, y *Klebsiella ssp.* (Coliformes Totales); cuya procedencia puede ser fecal, pero también pueden proceder del suelo, polvo y agua. Por ello cuando se precisa saber si la contaminación es de origen fecal se recurre a los coliformes fecales y más comúnmente a *E. coli* (Espindula, 2004).

6.9 Índice BMWP

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los Macroinvertebrados como bioindicadores. Este método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (Roldán, 2003).

Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1. La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP. Los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia (Roldán, 2003).

Cuadro 1. Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico – BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System).

ORDENES	FAMILIAS	PUNTOS
Plecóptera Ephemeroptera Trichoptera Díptera Hidroida Acari Coleoptera Odonata Unionoida	Perlidae Oligoneuriidae, Euthyplociidae, Polymtarciidae Odontoceridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae, Calamoceratidae, Hydroptilidae, Anomalopsychidae, Atriplectididae Blepharoceridae Hidridae. (Cl: Hydrozoa) Lymnessiidae. (Cl: Arachnoidae o Hidracarina) Psephenidae, Ptilodactylidae, Lampyridae Polythoridae Unionidae. (Cl: Bivalvia o Pelecypoda)	10
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Díptera Gordioidae Lepidóptera Mesogastropoda	Leptophlebiidae, Efemeridae Hydrobiosidae, Philopotamidae, Xiphocentronidae. Gyrinidae, Scirtidae. Gomphidae, Megapodagrionidae, Coenagrionidae. Simullidae. Gordiidae, Chordodidae. (Cl: Nematomorpha)	9

ORDENES	FAMILIAS	PUNTOS
Hirudiniforme	Pyralidae Ampullariidae. (Cl: Gastrópoda) Hirudinae. (Cl: Hirudinea)	
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Hemíptera Díptera Decápoda Basommatophora	Baetidae, Caenidae Hydropsychidae, Peptoceridae, Helicopsychidae. Dytiscidae, Dryopidae. Lestidae, Calopterygidae Pleidae, Saldidae, Guerridae, Veliidae, Hebridae. Dixidae. Palaemonidae, Pseudothelphusidae. (Cl: Crustácea) Chilinnidae. (Cl: Gastrópoda)	8
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Hemíptera Díptera Basommatophora Mesogastropoda Archeogastrópoda	Tricorythidae, Leptohiphidae. Polycentropodidae. Elmidae, Staphylinidae. Aeshnidae. Naucoridae, Notonectidae, Mesolveiidae, Corixidae. Psychodidae Ancyliidae, Planorbidae. (Cl: Gastrópoda) Melaniidae, Hydrobiidae (Cl: Gastrópoda) Neritidae. (Cl: Gastrópoda)+	7
Coleoptera Odonata Hemíptera Díptera Megalóptera Decápoda Anphioda Tricladida	Limnichidae, Lutrochidae. Libellulidae. Belostomatidae, Hydrometridae, Gelastocoridae, Nepidae. Dolichopodidae. Corydalidae, Sialidae. Athyidae. (Cl: Crustácea). Hyalellidae. (Cl: Crustácea) Planariidae, Dugesidae.	6
Coleoptera Díptera Basommatophora	Chrysomelidae, Haliplidae, Curculionidae. Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae. Thiaridae. (Cl: Gastrópoda).	5
Coleoptera Díptera Basommatophora	Hidrophilidae, Noteridae, Hydraenidae, Noteridae. Tipulidae, Ceratopogonidae. Limnaeidae, Sphaeridae. (Cl: Gastrópoda)	4
Díptera Basommatophora Glossiphoniiformes	Culícidae, Muscidae, Sciomizidae. Physidae. (Cl: Gastrópoda) Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Cylicobdellidae.	3
Díptera Heplotaxida	Chironomidae, Ephydriidae, Syrphidae. Todas las familias (excepto Tubifex)	2

ORDENES	FAMILIAS	PUNTOS
Haplotaxida	Tubificidae (Tubifex)	1

Fuente: Zamora, H. El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia

Al determinar el puntaje de cada familia, este se suma y su resultado se ubica dentro de los rangos de clasificación (ver Tabla 2) para cualificar la calidad del agua usando un color distintivo.

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

Clase	Rango	Calidad	Características	Color Cartográfico
I	≥ 121	Muy buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101 – 120	Buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61 – 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 – 60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo
V	16 – 35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤ 15	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Zamora, H. El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia

6.10 Medición de la Diversidad Alfa

La gran mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Para diferenciar los distintos métodos en función de las variables biológicas que miden, los dividimos en dos grandes grupos. Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica); Métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa.). Los métodos basados en la estructura pueden a su vez clasificarse según se basen en la dominancia o en la equidad de la comunidad (Moreno 2001).

6.10.1 Riqueza específica

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta

el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente para ciertos taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio. La mayoría de las veces tenemos que recurrir a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la comunidad (Moreno 2001).

Riqueza específica (Margalef)

$$DMg = \frac{s - 1}{\ln N}$$

Dónde:

S = número de especies

N = número total de individuos

6.10.2 Índices de Diversidad

Para tener en cuenta tanto la riqueza en especies como la uniformidad, se han elaborado distintos índices. Las proporciones de las especies se indican como p_i , siendo este valor el número de individuos de la especie i respecto al total de individuos de las S especies de una comunidad. Entre los índices más empleados se encuentran los siguientes:

6.10.2.1 Índice de Simpson.

Expresa la probabilidad de extraer de la comunidad dos individuos al azar que sean de la misma especie. Es una medida de dominancia donde las especies comunes tienen mucho peso respecto a las especies raras. Oscila entre 0 (cuando hay únicamente una especie) y $(1-1/S)$.

$$D = \sum ((n_i^2 - n_i) / (N^2 - N))$$

Donde:

n_i = número de individuos en la i ésima especie

N = número total de individuos en la muestra

6.10.2.2 Índice de Shannon-Wiener.

Este índice, que procede de la teoría de la información, es el más ampliamente empleado ya que considera tanto la riqueza en especies como su abundancia, al emplear una escala logarítmica. Varía de 0 (cuando hay solo una especie).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:

P_i = abundancia proporcional de la especie i , lo cual implica el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

6.11 DIVERSIDAD BETA.

Es la medida del grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre las comunidades que se encuentra en un área mayor (Villareal, Álvarez, Córdoba, 2004).

6.11.1 Índice de similitud de Jaccard (coeficiente de similitud I_j)

El rango de este índice va desde cero (0) cuando no hay especie compartidas, hasta uno (1) cuando los dos sitios comparten las mismas especies. Este índice mide diferencias en la presencia o ausencia de especies.

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

a = número de especie en el sitio A

b = número de especie en el sitio B

c = número de especie presentes en ambos sitios A y B, es decir que están compartidas.

6.12 Parámetros Físicoquímicos

La caracterización física y química de un ambiente acuático hace referencia a todo aquellos factores ambientales que influyen en la estabilidad y productividad de un ecosistema y que influirán en el proceso de la utilización del agua (Roldan 1992).

La presencia y el normal desarrollo de los organismos acuáticos en general dependen en gran medida no solo de las características geomorfológicas de los lechos fluviales y de las condiciones climatológicas, sino también de las características físicoquímicas de los cuerpos de agua (Solano 2007).

7. ANTECEDENTES

Con respecto a la calidad biológica del agua existen varios estudios relacionados con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de los cuales se destacan los trabajos de:

Sanabria (2010), en la quebrada Chapa del municipio de Lobo Guerrero Valle del Cauca, determinó la calidad biológica del ecosistema mediante el análisis de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales, aplicando el índice BMWP, donde se concluyó que son aguas limpias debido a la presencia de un alto número de individuos pertenecientes a las familias consideradas como indicadores de buena calidad como es el caso de Perlidae y Psephenidae.

Valladolid (2010), en su trabajo Estado ecológico del río Oja (cuenca del Ebro, La Rioja, España), mediante indicadores de macroinvertebrados, utilizó el índice BMWP, el cual le arrojó que el 75.86 % de las medidas dan un estado Muy Bueno-Bueno, con un 10.35 % de calidad Deficiente. Esta deficiencia aparece en dos puntos del ecotipo 12 (3 y 4), y probablemente se deba a la irregularidad del caudal del río en este tramo que sufre sequía desde finales de primavera hasta principios de otoño.

En el departamento del Putumayo, Vallejo (2011), determinó las características fisicoquímicas y caracterizó la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua, donde el índice BMWP indicó, que existen diferencias en la calidad del agua, ya que en la zona 1 las características son aceptables, mientras que en la zona 2 y 3 se evidencia una contaminación más profunda con aguas dudosas y muy críticas.

Por otro lado, Vargas (2011), realizó una evaluación rápida de la calidad del agua en la quebrada San Nicolás y Singuya, municipio de Puerto Asís Putumayo, basado en análisis fisicoquímico y de macroinvertebrados acuáticos, donde se determinó que las principales causas del deterioro de la calidad del agua es por la deposición de aguas residuales provenientes de las viviendas aledañas y al sistema de alcantarillado del municipio.

Cruz (2012), realizó una caracterización físico química y de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada Minatapada, corregimiento de la fonda, el Tambo, donde identificó las variaciones en las características fisicoquímicas hídricas de la quebrada, las cuales se encontraron en rangos normales excepto nitritos, amonio, cianuro, turbiedad y DQO, las cuales son indicadores de aguas contaminadas.

Urrea, en su trabajo Caracterización ambiental de la microcuenca del río Ejido, (2012), determinó que los impactos mayores se generan por los vertimientos de aguas residuales y domésticas al río, lo que se reflejó en la pérdida de la calidad del agua y en la salud de la comunidad, la cual padece de enfermedades

respiratorias, dermatológicas y diarreicas, siendo más vulnerable la población infantil

Guzmán (2013), determino la calidad biológica con base en los macroinvertebrados acuático y las características fisicoquímicas de la quebrada la victoria ubicada en el municipio de Totoró Cauca, donde se identificaron y se evaluaron las posibles actividades antrópicas que afectan la calidad del agua y las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, siendo las actividades pecuaria y agrícolas las que mayor impacto de afección generan en el cuerpo de agua.

Gómez (2013), en su trabajo Evaluación de la calidad ecológica del agua usando macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media de la cuenca del río felidia Valle del cauca, empleo los índices de contaminación (ICO), los cuales ayudaron a determinar que el agua de los sitios de muestreo se encuentra entre regular y de buena calidad, y que en los sitios estudiados no se presentaron, contaminación por Trofia, ni por materia orgánica.

Durante el año 2015 Caicedo realizo un análisis sobre la influencia del vertimiento de las aguas residuales generadas por la rallanderia porvenir, sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, donde determino que de acuerdo con el índice BMWP, las aguas son de características fuertemente contaminadas y de condiciones críticas, situación de cierta manera coinciden con la realidad de los registros obtenidos, tanto biológicos como físico-químicos.

Por otro lado, Ulchur en el 2015, realizó una Evaluación de la calidad de agua de la quebrada Guaicoche en el municipio de Caldone, Cauca, donde identifico los posibles tensores antrópico que afectan el área de influencia de la quebrada, concluyendo que los tensores más relevante dentro del área muestreada de la quebrada, son la tala de árboles y la disminución del área boscosa lo que ocasiona deterioro y por ende la percolación de vertimientos directos a la quebrada.

Del mismo modo, Velazco 2017, identifico los diferentes tensores antrópicos y ambientales a los que está expuesto el ecosistema acuático, en si trabajo "Indicadores biológicos y fisicoquímicos para la determinación de la calidad del agua del rio san Pedro en el municipio de la Sierra – Cauca, encontrando que los tensores antrópicos, que están influenciando al rio en su mayoría son por actividades domésticas y agrícolas, que impactan de manera directa e indirecta sobre las aguas del rio en cuestión.

8. MARCO REFERENCIAL

8.1 Área de estudio.

El municipio de Santander de Quilichao se encuentra ubicada en el inicio del valle geográfico del Río Cauca cuenta con una población estimada de 97.965 habitantes (Proyección DANE, 2005-2020) de los cuales aproximadamente 40000 personas se ubican en el casco urbano (Fuente censo Dane 2005) que abarca un área de 684 ha. De las cuales solo 330 ha, están desarrolladas. El río Quilichao, la quebrada Aguas Calientes y la quebrada Agua Clara hacen parte de la Micro cuenca del Río Quinamayó que a su vez hace parte de la Cuenca del Río Cauca. (Ortiz 2012).

La cuenca de la quebrada agua clara nace en la vereda en Águila y atraviesa la cabecera municipal de Santander de Quilichao desde la vereda Campito hasta el barrio San José. La quebrada agua clara atraviesa en su recorrido el casco urbano del municipio de Santander de Quilichao por el costado Sur-Occidental a Occidente en 7132.27m aproximadamente y es alimentada por dos cuerpos de agua que la intersectan a la altura del barrio Nariño, el recorrido de la quebrada en su paso por el casco urbano comienza en la zona conocida como Carbonero continua por el área urbana denominada como Campito y prosigue su trayectoria por los barrios: Nariño, El Canalón, Alfonso López, Santa Inés, Betania, Morales Duque, Porvenir I, Porvenir II, Morinda y San José. (Ortiz 2012).

Imagen 1. Mapa ubicación de la quebrada agua clara, Santander de Quilichao



Fuente: Chacón (2016), basado en cartografía básica del IGAC del Año 2008 e imagen de GoogleEarth 2018.

8.2 Aspectos Ambientales

Geografía:

El Municipio de Santander de Quilichao, está ubicado en la República de Colombia, en el sector Norte del Departamento del Cauca, a 97 Km al norte de Popayán y a 45 Km al Sur de Santiago de Cali, Valle del Cauca.

Límites del municipio:

Limita al Norte con los Municipios de Villarica y Jamundí, al Occidente con el Municipio de Buenos Aires, al Oriente con los Municipios de Caloto y Jambaló y al Sur con el Municipio de Caldono. Su extensión es de 597 Km², su posición geográfica respecto al meridiano de Bogotá es de 3° 0' 38" Latitud Norte y 2° 23' 30" latitud Oeste, su altura sobre el nivel del mar es de 1.071 metros.

Extensión total: 518 km²

Extensión área urbana: 8,58 km²

Extensión área rural: 509,42 km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1071

Temperatura media: 26 °C

El Municipio de Santander de Quilichao tiene una gran diversidad en su cobertura vegetal y usos del suelo favorecidos con bondad por contar con tres pisos térmicos, por lo cual se puede decir que su vocación es agropecuaria, el 44,26 % de su territorio equivalente a 22.196 Hectáreas están dedicadas a cultivos agrícolas y praderas utilizadas en ganadería doble propósito, ceba y producción de leche. El 21,89 % de su territorio equivalente a 15.000 Hectáreas son terrenos ubicados en las zonas de laderas, que han sufrido procesos erosivos especialmente por el mal uso dado con algunos cultivos limpios como yuca y maíz, estos suelos en la actualidad son de escaso uso agropecuario. El 8,51 % es decir, 4.272 Hectáreas se encuentran en rastrojo y matorrales, el 7,47 % con 3.747 Hectáreas están en bosques primarios, secundarios y plantados, 2000 Hectáreas en afloramiento rocoso y área improductiva, el área en parques y zonas industriales es de 1.447 Hectáreas, área en vías 780 Hectáreas, superficies en cuerpos de agua 790 Hectáreas y área urbana 716 Hectáreas.

9. MARCO METODOLÓGICO

9.1 Recopilación de Información Primaria.

Se obtuvo de la población aledaña a la quebrada, a través de entrevistas a la comunidad de la vereda de San Pedro y el municipio de Santander de Quilichao, que es por donde drena la quebrada Agua Clara, con el objetivo de recopilar información del uso y manejo actual que se le da a la quebrada, y de sus características físicas en años pasado (Ortiz 2012).

9.2 Recopilación secundaria.

Se tuvo en cuenta la revisión bibliográfica la cual se hizo de forma meticulosa para escoger los estudios que revestían de mayor importancia para la investigación y se estableció una base sistemática con los estudios que arrojaron resultados comparables con la investigación, durante todo el proceso de ejecución del proyecto, la información se obtuvo de las empresas de servicios públicos EMQUILICHAO, Alcaldía Municipal, Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y de Artículos Científicos reportados en base de datos como la Scielo.

9.3 Determinación de las zonas de muestreo.

Se realizó un recorrido de reconocimiento por la zona, y se definieron los puntos de muestreo teniendo en cuenta las características de la quebrada, como cobertura vegetal y los puntos donde se hacen vertimientos de aguas residuales de forma directa, los puntos se georeferenciaron con un GPS marca GARMIN - X30.

Imagen 2. Parte alta de la quebrada Agua Clara sector Villa Colombia



Fuente: Autor

El primer punto se definió en el sector de Villa Colombia en la parte alta de la quebrada.

Imagen 3. Parte media de la quebrada Agua Clara sector Campito



Fuente: Autor

El segundo punto de muestreo se ubicó en la parte media en el sector de Campito.

Imagen 4. Parte baja de la quebrada Agua Clara sector Puente Panamericano



Fuente: Autor

El tercer punto de muestreo se estableció unos metros después del puente panamericano.

Los muestreos fueron desarrollados una vez al mes durante cuatro meses desde junio a septiembre del año 2017, tanto para los macroinvertebrados acuático como para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de manera simultánea; las entrevistas no estructuradas se realizaron durante los cuatro meses de campo sin seguir un patrón de tiempo establecido.

La metodología plateada en este trabajo de investigación se basa en tres etapas importantes descritas a continuación.

- Toma de muestras biológicas, microbiológicas y análisis fisicoquímicos.
- Tratamiento y análisis de datos
- Identificación y evaluación de efectos ambientales.

9.4 Toma de muestras biológicas, microbiológicas y análisis fisicoquímico.

Para el desarrollo de esta etapa del trabajo de investigación se realizaron dos fases que se describen a continuación:

9.4.1 Fase de campo. El muestreo respondió a un diseño dirigido en donde se escogieron las estaciones dependiendo de las condiciones ambientales, en esta fase se realizaron 3 muestreos que corresponden a: recolecta de macroinvertebrados acuáticos con 4 repeticiones en cada punto de muestreo, una por mes durante cuatro meses; simultáneamente se realizaron la toma de muestras para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos respectivamente y recolección de información de las actividades antrópicas.

9.4.1.1 Componente biológico con base en los macro acuáticos. Los muestreos se realizaron utilizando una red surber con ojos de malla de 500um aproximadamente, adicionalmente se realizaron muestreos manuales que consisten en levantar rocas, ramas sumergidas en cuya superficie se encuentran numerosos organismos adherido, que se deben tomar con ayuda de pinzas y guardar en frasco con alcohol al 70% para su preservación (Roldan, 2001).

Con el objeto de tener la mayor representatividad en la muestra de macroinvertebrados, debe explorarse cada uno de los hábitats posibles para el lugar de muestreo, teniendo en cuenta que no es recomendable muestrear después de lluvias intensas (Guzmán, 2013).

Imagen 5. Captura de macroinvertebrados acuáticos.



Fuente: Autor

9.4.1.2. Componente físico-químico

En esta fase se realizaron 4 muestreos 1 por mes en las tres estaciones establecidas, haciendo uso de la sonda portátil multiparamétrica YSI, la cual fue calibrada por última vez el 28/09/2016 (figura 6), midiendo los siguientes parámetros: Oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura hídrica, conductividad y sólidos disueltos totales. Los demás parámetros como nitrato, nitrito, amonio, fosfato, pH, alcalinidad total y dureza total, se analizaron por medio del laboratorio portátil aquamerck (imagen 5).

Las muestras se colectaron en recipientes de vidrio de un litro, previamente rotulado con el nombre de estación de muestreo y la fecha, la toma de la muestra se hizo a favor de la corriente para evitar el burbujeo y la inoculación de sedimentos que alteren su posterior lectura, las muestras permanecieron refrigeradas en una nevera de icopor con bolsas de hielo a una temperatura de 4°C aproximadamente las cuales fueron transportadas en vehículo particular el mismo día de la toma al laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán donde fueron analizadas (SENA, 2011), de igual forma, para los análisis y monitoreo de las muestras de agua se siguió el protocolo sugerido por el laboratorio ambiental de la Universidad Nacional (2009) (anexos 14.3 y 14.4).

Imagen 6. Toma de parámetros fisicoquímicos (Oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura hidria, conductividad y solidos disueltos totales)



Fuente: Autor

9.5 Fase de laboratorio.

En esta fase se estudiaron los macroinvertebrados acuáticos, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, descritos en la fase de campo.

9.5.1. Componente biológico con base en los macroinvertebrados acuáticos.

Los organismos previamente colectados en frascos plásticos y con alcohol al 70%, se colocaron en cajas de Petri con alcohol para una observación detallada de estos organismos y posteriormente se determinaron taxonómicamente los especímenes hasta género, empleando las claves como la Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos de Roldan (1998) y la metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos del Humboldt (2005) haciendo uso del estereoscopio (imagen 7).

Imagen 7. Identificación de macroinvertebrados acuáticos



Fuente: Autor

Después de identificarlos se determinó la riqueza, abundancia con la ayuda del programa estadístico Past, al mismo tiempo se determinaron los índices ecológicos ICO y el índice BMWP/c

9.6 Componente fisicoquímico.

Las muestras colectadas en campo previamente rotuladas y refrigeradas se llevaron al laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán, donde se hizo la lectura utilizando el laboratorio portátil aquamerck para determinar los parámetros mencionados anteriormente.

Imagen 8. Análisis de muestras fisicoquímicas.



Fuente: Autor

9.7 Componente Microbiológico.

Para el análisis Microbiológico se siguió la Guía Práctica de Laboratorio de Química General para análisis de aguas de la Fundación Universitaria de Popayán, el cual consiste en los siguientes dos pasos, prueba presuntiva y prueba confirmativa (Arias, 2011).

9.7.1 Prueba Presuntiva.

Para esta prueba se esterilizaron todos los materiales de vidrio durante dos hora a una temperatura de 110 °C en un horno de referencia HOT AIR oven Digital N° YCO-NO1, se utilizaron 9 tubos de ensayo Durham por cada estación de muestreo.

En dos erlenmeyer de 500ml se agregaron 200ml y 100 cc de agua destilada y 2.6g de caldo lactosado para cada uno, se llevó a la plancha de calentamiento a una temperatura de 200 °C y se dejó hervir por tres veces quitando el erlenmeyer de la plancha cada vez que comenzaba a ebulir, se dejó enfriar y se agregó 10ml de la preparación en cada tubo de ensayo. Posteriormente se transfirieron 0.1 cc, 1 cc y 10 cc de la muestra de agua en 9 tubos de ensayo para cada volumen estipulado

Los 27 tubos de ensayos se incubaron a una temperatura de 35 °C durante 24 horas, luego se sacaron y se analizó la presencia o ausencia de burbujas que evidencian si hubo proceso de respiración bacteriana.

Imagen 9. Preparación de las muestras microbiológicas con caldo lactosado.



Fuente: Autor

9.7.2 Prueba Confirmativa.

Una vez establecida la presencia en el agua de los organismos formadores de gas por la fermentación de la lactosa, el paso siguiente fue la confirmación de la presencia de fermentadores de la lactosa gran-negativos, inoculando medios (*Clostridium perfringens*, es fermentador productor de gas gran-positivo), como el agar E.M.B o agar endo que contiene azul de metileno un inhibidor de las bacterias gran-positivas.

Las cajas de petri con el agar fueron incubadas a una temperatura de 35 °C durante 48 horas, luego se examinaron las colonias presentes para cada estación de muestreo.

Imagen 10. Confirmación de organismos formadores de gas por la fermentación de la lactosa.



Fuente: Autor

10. RESULTADOS Y ANÁLISIS

10.1. ESTACIONES DE MUESTREO

La tabla 3 muestra el nombre de las estaciones, con su respectiva coordenada y altura.

Cuadro 3. Referencias de las estaciones con sus respectivas coordenadas y alturas

ESTACIÓN	NOMBRE	ALTURA	COORDENADAS
1	Villa Colombia	1150	N 02° 58' 22.8" W 0,76° 27' 27.4"
2	Campito	1087	N 03° 00' 02" W 0,76° 29' 06.4"
3	Puente Panamericano	1016	N 03° 02' 39,2" W 0,76° 29' 52,4"

10.2 Parámetros fisicoquímicos

Para el análisis fisicoquímico, se tomaron muestras en cada una de las tres estaciones durante cuatro meses para determinar valores en los siguientes parámetros fisicoquímicos: Oxígeno Disuelto (mg/l), Oxígeno Saturado (%), DBO (mg/l O₂), Temperatura (°C), Sólidos Disueltos Totales (mg/L), Conductividad (µS/cm), Alcalinidad Total (mg/l), Dureza total (mg/l), Sólidos Suspendidos Totales (mg/l), Turbiedad (NTU), Nitrato (mg/l), Nitrito (mg/l), Amonio (mg/l) y Fosfato (mg/l), los valores obtenidos están registrados en la (tabla 3), (tabla 4).

Tabla 1. Promedio del comportamiento de Oxígeno Disuelto en las tres estaciones de muestreo.

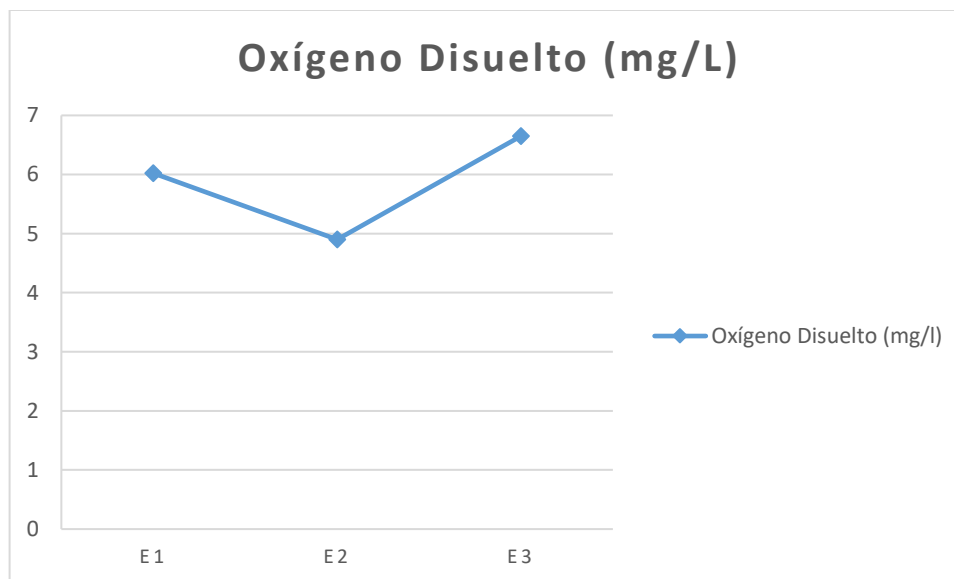
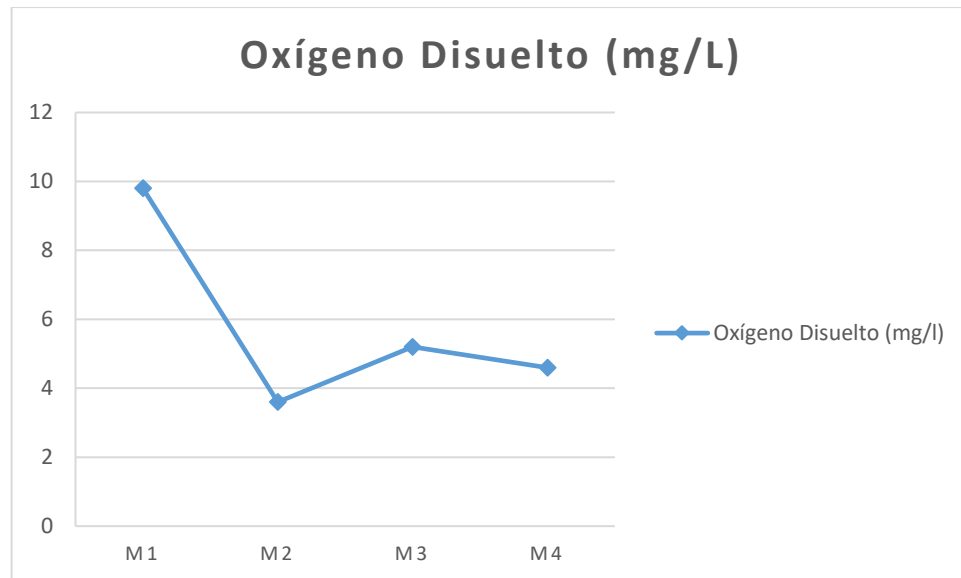


Tabla 2. Promedio del comportamiento de Oxígeno Disuelto durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.1. Oxígeno Disuelto. En la E3 se registró la concentración promedio más alta para este parámetro con valor de 6.65 mg/l y la más baja se registró en la E1 con 6.02 mg/l, según Goyenola (2007) concentraciones de oxígeno disuelto en el agua de 5 – 8 son aceptables, adecuadas para gran mayoría de especies de peces y organismos acuáticos, lo que nos indica que las concentraciones de oxígeno disuelto en la quebrada están dentro de los niveles aceptable para el buen desarrollo de la biota acuática. En la E2, se registraron valores por debajo de los niveles aceptables debido a las altas concentraciones de materia orgánica que se vierte en la quebrada.

La variación del OD durante los cuatros meses de muestreo no fue asimétrica, ya que la quebrada cuenta con pendientes en algunos tramos que hacen que el agua se oxigene con la caída y con velocidades que fluctúan entre rápida y lenta que también intervienen en los cambios de los valores ya que al chocar con las rocas se produce una constante oxigenación.

Tabla 3. Promedio del comportamiento de Oxígeno Saturado en las tres estaciones de muestreo.

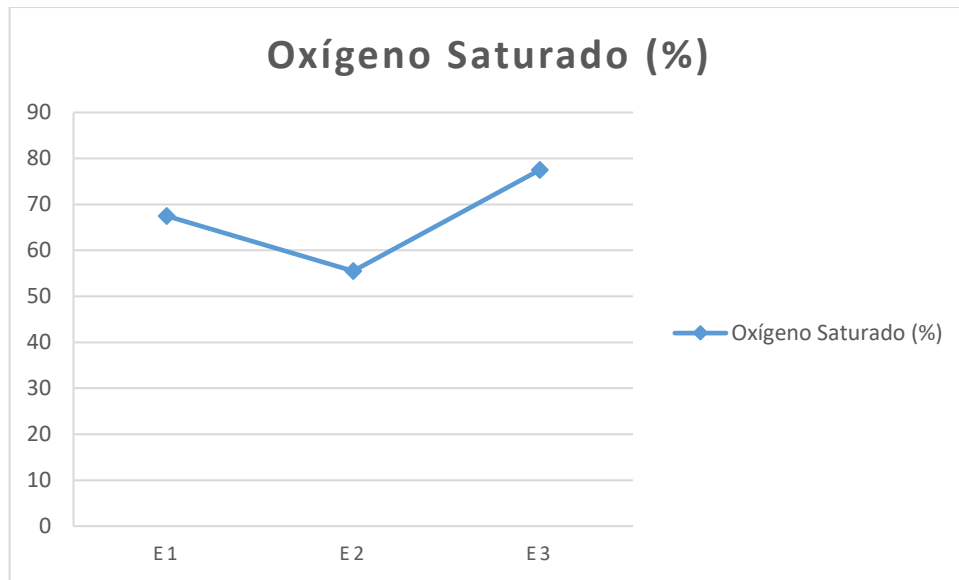
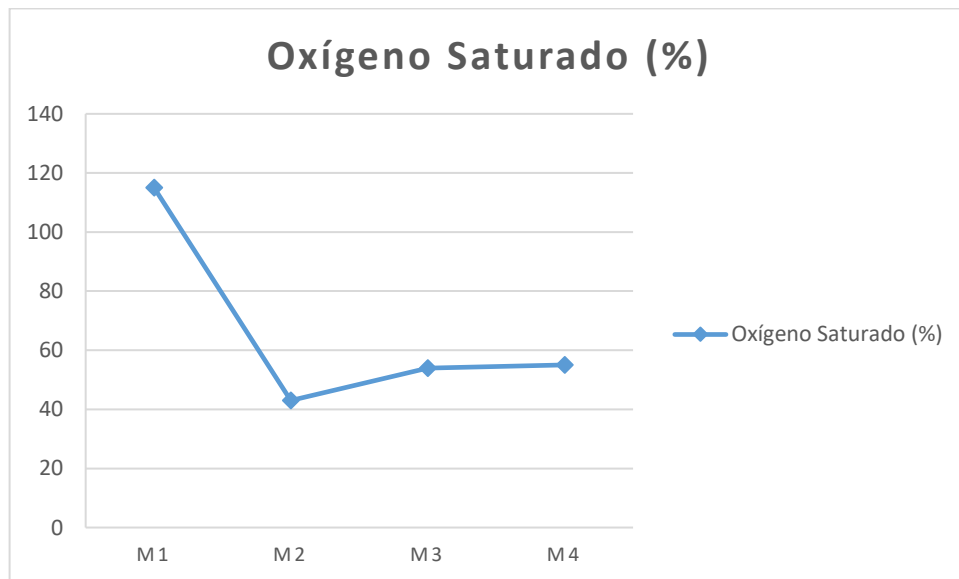


Tabla 4. Promedio del comportamiento de Oxígeno Saturado, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.2. Oxígeno Saturado. La E3 registro un valor de 77.5% mg/l de oxígeno saturado, siendo este el valor más elevado entre las tres estaciones de muestreo, indicando altos niveles de este gas presente en el agua, esto se atribuye a la

geografía de la quebrada, que hace que el agua se oxigene en su recorrido por las numerosas pendientes que existen hasta llegar a zona de desembocadura. Los niveles más bajos se registraron en la E2 con 55.5% mg/l, estando este valor dentro de los niveles de tolerancia para el buen desarrollo de las especies de la quebrada.

Tabla 5. Promedio del comportamiento de DBO en las tres estaciones de muestreo.

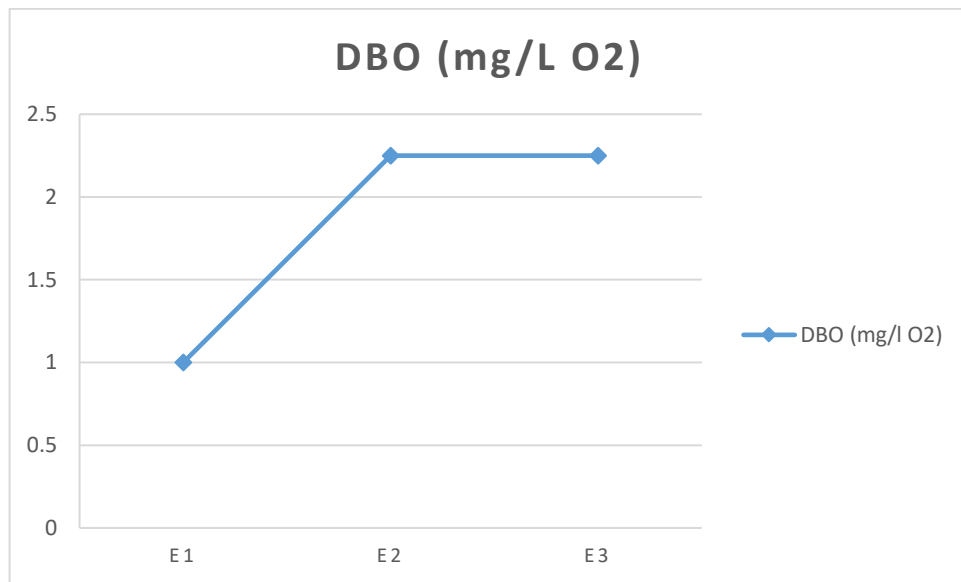
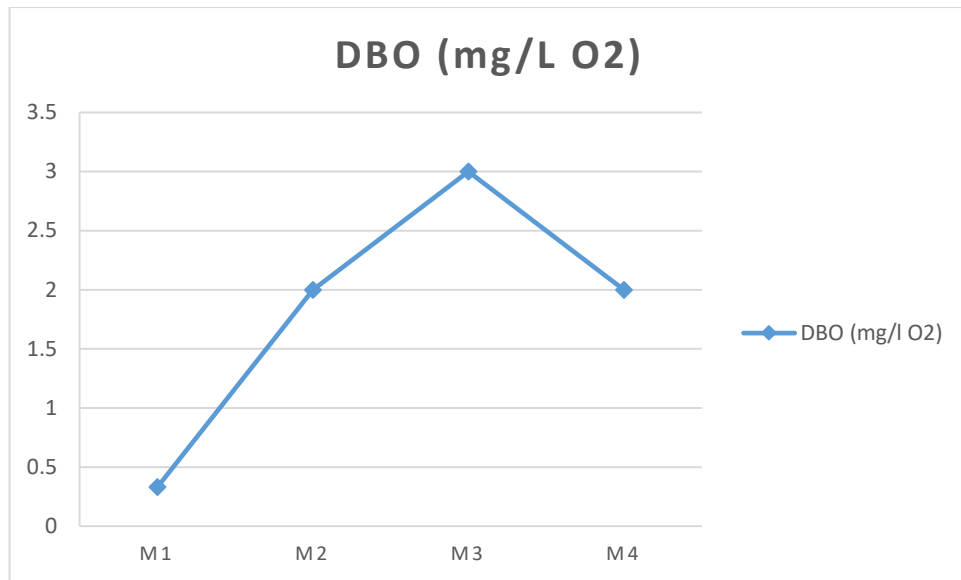


Tabla 6. Promedio del comportamiento de DBO, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.3. DBO5. Este parámetro está definido por la cantidad y tipo de materia orgánica en proceso de descomposición Ramírez et al (1997), la E2 y E3 mostraron los niveles promedios más alto con 2.25 mg/l, lo que indica que en estas dos zonas de la quebrada los vertimientos de origen domésticos y pecuarios se hacen con mayor frecuencia y en mayores cantidades. En el mes tres se registraron los niveles más altos de DBO con un valor de 3 mg/l, mientras que el mes uno se registraron los niveles más bajos de DBO con un valor de 0.33 mg/l (anexo 2), debido a que este mes fue el que mayor precipitación mostro durante los cuatro meses de muestreo.

Tabla 7. Promedio del comportamiento de la Temperatura en las tres estaciones de muestreo.

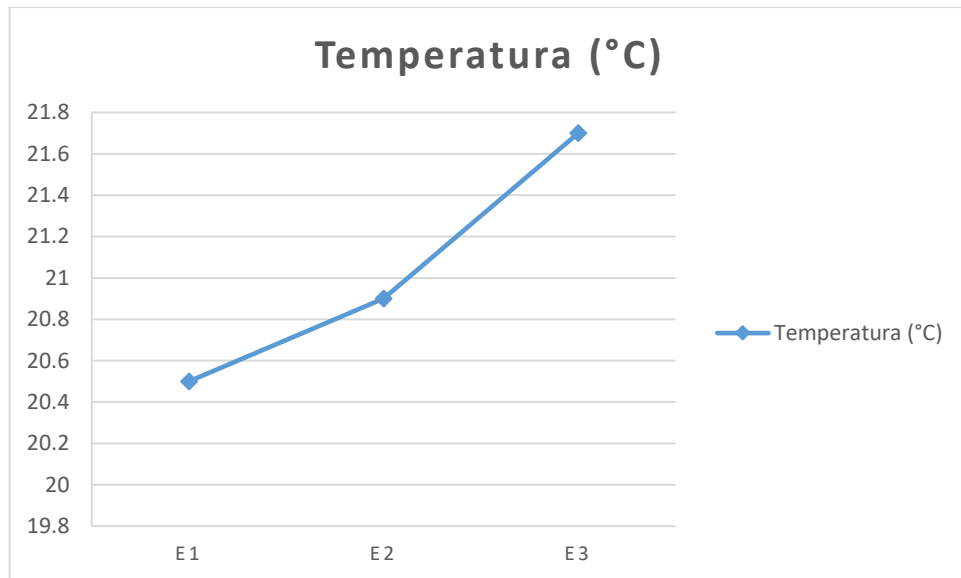
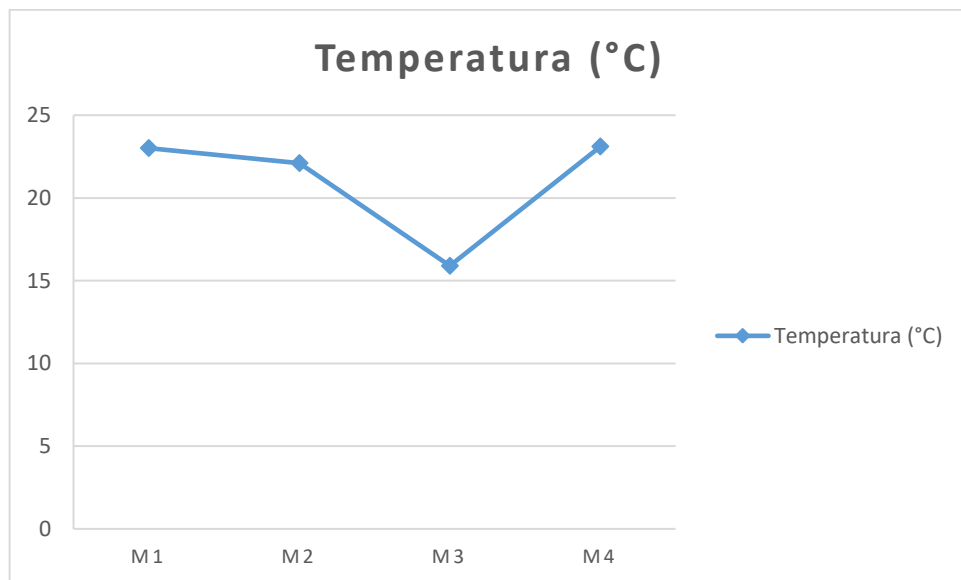


Tabla 8. Promedio del comportamiento de la Temperatura, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.4. Temperatura. Los valores más altos se registraron en la E3 con 21.7°C y los valores más bajos se registraron en la E1 con 20.5°C, las variaciones no fueron tan significativas de una estación a la otra.

Durante los cuatro meses de muestreo la temperatura más baja se registró en el M3 y la E1 con un valor de 16°C, este valor se atribuye a la hora en que se realizó el muestreo, el cual se hizo muy temprano en la mañana cuando la radiación solar no ha calentado suficientemente el agua como para incidir directamente en la lectura de este parámetro.

Tabla 9. Promedio del comportamiento de Nutrientes en las tres estaciones de muestreo.

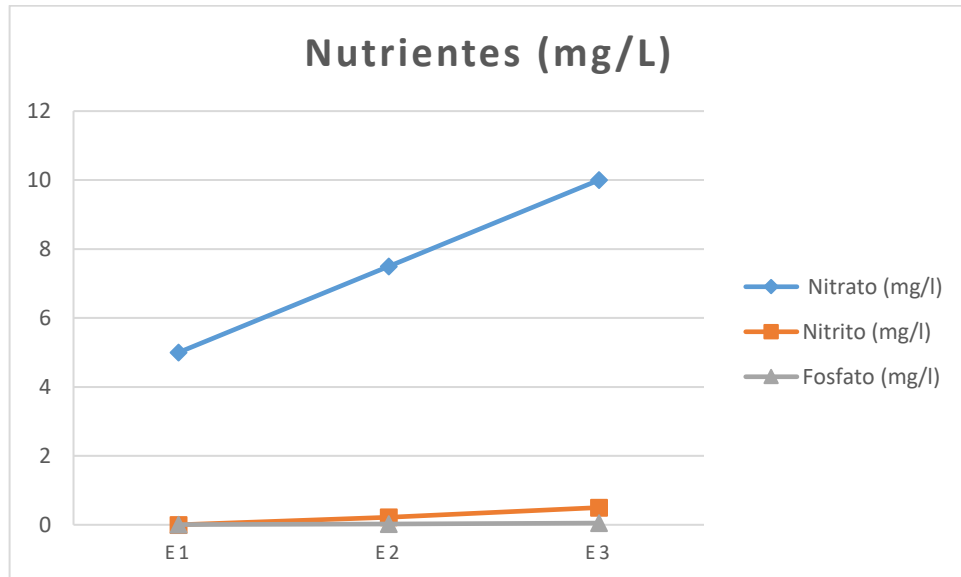
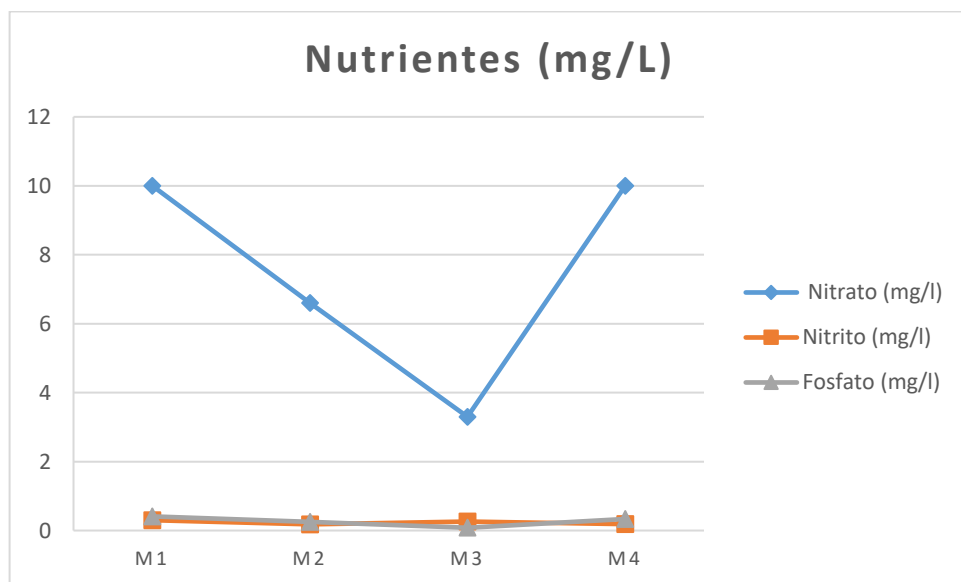


Tabla 10. Promedio del comportamiento de Nutrientes, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.5. Nutrientes. En la (Tabla 9), se muestran los valores obtenidos para los parámetros Nitrato, Nitritos, y Fosfatos en las diferentes estaciones de muestreo, donde se observa que las concentraciones promedio de nitritos y nitratos están dentro de los límites permitidos como valor máximo aceptable que no tienen implicaciones sobre la salud humana (Resolución 2115 de 2007), con valores promedio de 7.5 mg/l de NO₃⁻ y 0.2 mg/l NO₂⁻, presentando valores máximo de nitrato de 10 mg/l en la E3 y valores mínimos de 5 mg/l en la E1, para nitritos los valores altos se presentaron en la E3 con 0.5 mg/l y los valores bajos en la E1 con 0 mg/l. el ion Fosfatos muestran un comportamiento similar al de los iones nitritos y nitratos que se presenta de forma ascendente desde la E1 hasta llegar a la E3, con valores promedio de 0.3 mg/l.

Los valores de nutrientes muestran que en la E2 y E3, hay un alto aporte de heces fecales, orina y residuos de alimentos, derivado de las actividades pecuaria, y de las viviendas aledaña a la quebrada que no cuentan con el sistema de alcantarillado las cuales vierten sus aguas de forma directa, a esto también se suma los fertilizantes utilizados en la agricultura lo que aumenta la demanda de materia orgánica en el agua. Estos niveles de contaminación aumentan a medida que la quebrada hace su recorrido por el casco urbano del municipio de Santander de Quilichao, mostrando una alta concentración en la E3 para cada uno de los parámetros analizado, lo que nos indica que los vertimientos se realizan de forma frecuente en estas dos estaciones, limitando el proceso de autodepuración de la quebrada.

Los valores registrados durante los 4 meses de muestreo (figura 4), muestran el nivel más alto en el mes de junio, periodo en el cual se registraron los niveles más altos de pluviosidad durante los 4 meses de estudio, los promedios más bajos se registraron en el mes de septiembre, en temporada de baja pluviosidad.

Tabla 11. Promedio del comportamiento de Amonio en las tres estaciones de muestreo.

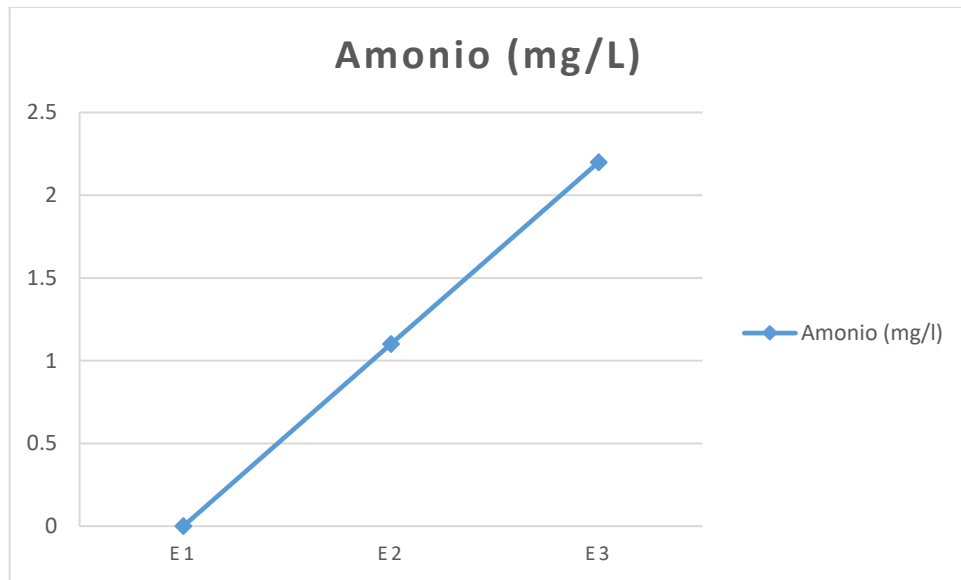
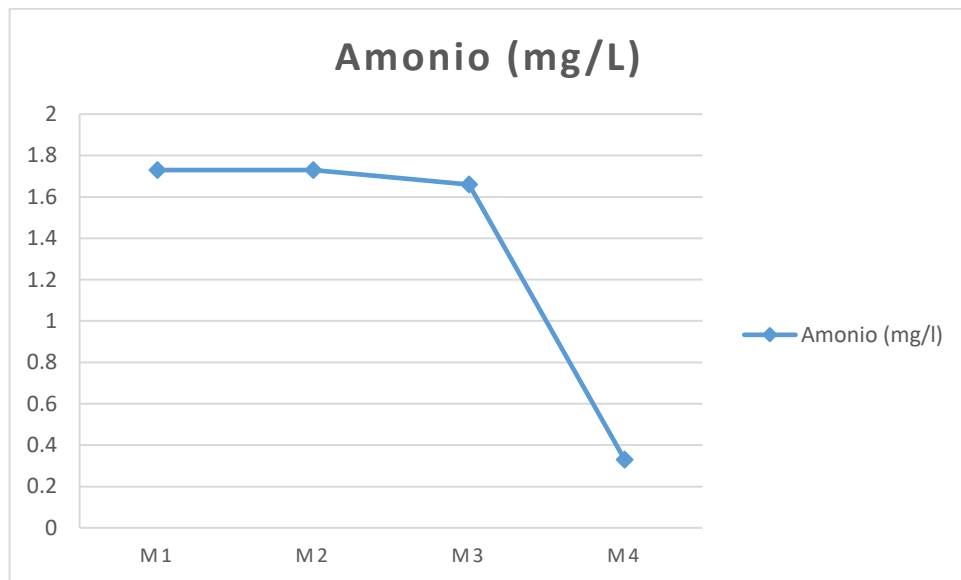


Tabla 12. Promedio del comportamiento de Amonio, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.6. Amonio.

Este parámetro mostro niveles altos en las E2 y E3 de 1.4 mg/l y 2.8 mg/l, y en los M1 y M2 de 1.73 mg/L esto se atribuye a las actividades de origen pecuario que vierten sus aguas directamente a la quebrada, la E1 no registro valores de amonio, hay que tener en cuenta que la presencia de amonio en el agua no tiene repercusiones inmediatas sobre la salud humana, en cambio valores por encima de 0,5 mg/L de NH_4 , causan estrés en la fauna acuática (Vásquez, 2001).

Tabla 13. Promedio del comportamiento de los Iones en las tres estaciones de muestreo.

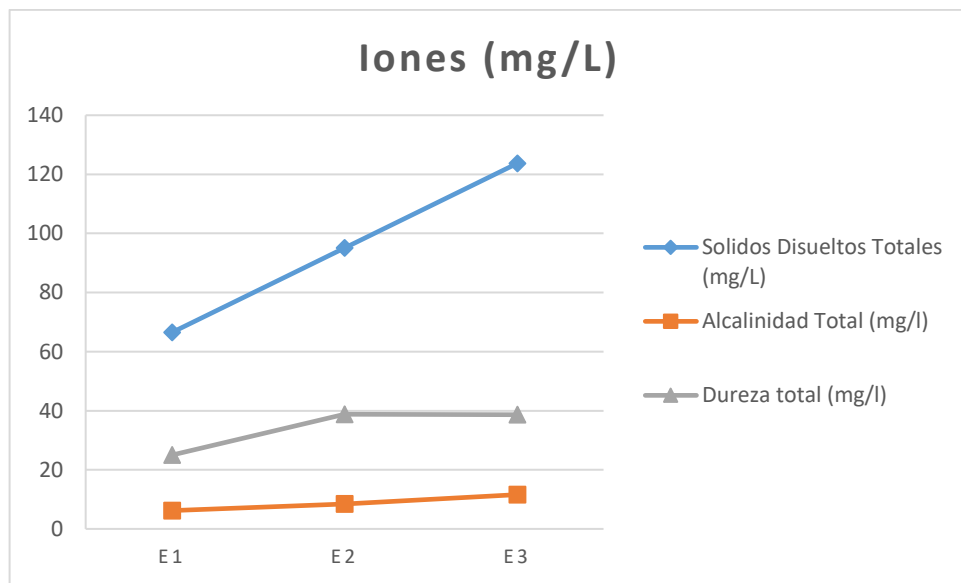
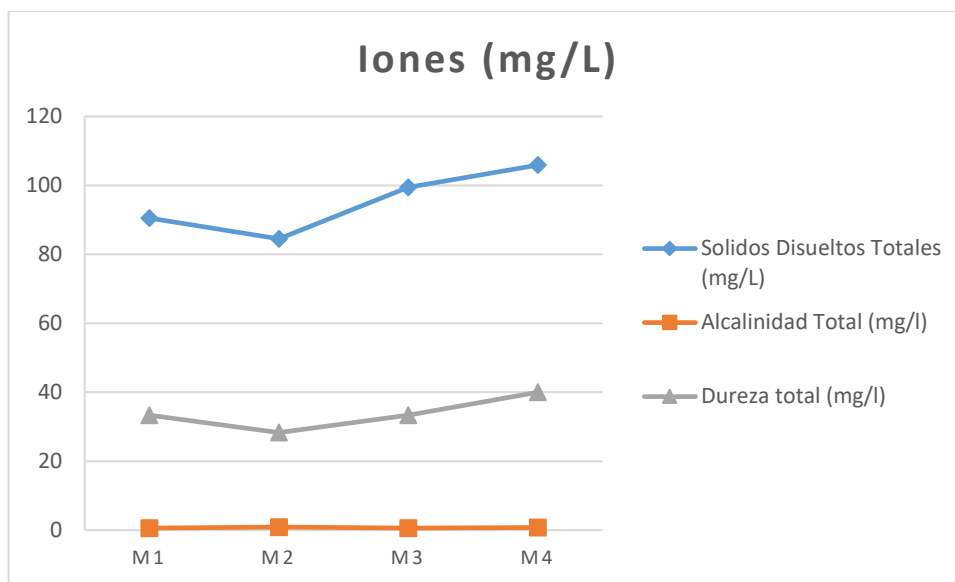


Tabla 14. Promedio del comportamiento de los Iones, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.7. Iones. Las concentraciones promedio obtenidas en cada estación de muestreo, muestran un orden creciente a medida que la quebrada hace su recorrido por el casco urbano del municipio de Santander de Quilichao, debido al incremento de descargas de aguas residuales y de vertimientos provenientes de actividades pecuaria, este comportamiento, se mostró en cada una de las variables analizadas a excepción de la Dureza que registro un mayor valor en la E2 seguido de la E3. Las variables TDS y Conductividad se relacionan significativamente, por la cantidad de sales minerales presentes en los TDS que hacen que la corriente eléctrica se transporte por estos iones. A pesar, que la Alcalinidad y la Dureza total son parámetros que también se miden por la cantidad de sales minerales disueltas en el agua, no están influenciando de forma significativa en el aumento de la conductividad; esta variable está siendo influenciada directamente por la cantidad de TDS en el agua como se observa en la (Tabla 13).

Solidos Disueltos Totales (TDS), las concentraciones promedio de esta variable muestran un valor de 66.5 mg/l en la E1 y de 123.7 mg/l en la E3, a pesar que existe una diferencia significativa entre la E1 y la E3 las concentraciones promedio no se consideran perjudiciales para la salud humana (decreto 475, 1998) y para las especies acuáticas de la quebrada. La gran diferencia entre estaciones se atribuye a la deforestación ribereña que se hace para la construcción de galpones y porquerizas ubicados al borde de la quebrada y al volumen de vertimientos domésticos siendo en la E2 y E3 donde se presentan en mayores cantidades.

Alcalinidad Total, en la E3 se registró un valor de 11.6 mg/l y en la E1 de 6.2 mg/l. Los valores obtenidos muestran una alcalinidad por debajo de los niveles aceptables, donde se evidencia una clara contaminación por este parámetro según la Resolución 2115 de 2007, la alcalinidad del agua para que comience amortiguar los con contaminantes, los valores deben ser >25 mg/l, valores por debajo caracterizan el agua como pobremente amortiguada.

Con base en lo anterior, se puede decir que el sistema buffer de la quebrada se encuentra inhibido, debido a las altas concentraciones de nutriente registradas en la E2 y la E3, donde no se evidencia una disminución en los contaminantes propios de un sistema buffer activo, este comportamiento se atribuye a la frecuencia con que se realizan los vertimientos, que en este caso son de forma constante y a la baja concentración promedio de la alcalinidad.

Dureza total, los valores de dureza obtenidos en las tres estaciones de muestreo (figura 6), nos indica un agua blanda con un poco cantidad de compuestos mineral, libre de iones de calcio y magnesio, lo que nos hace deducir que la quebrada no está siendo contaminada por dichas sales, ya que los valores de dureza no superan los 38.8 mg/l, estando este valor dentro de los niveles permitidos

Tabla 15. Promedio del comportamiento de Conductividad en las tres estaciones de muestreo.

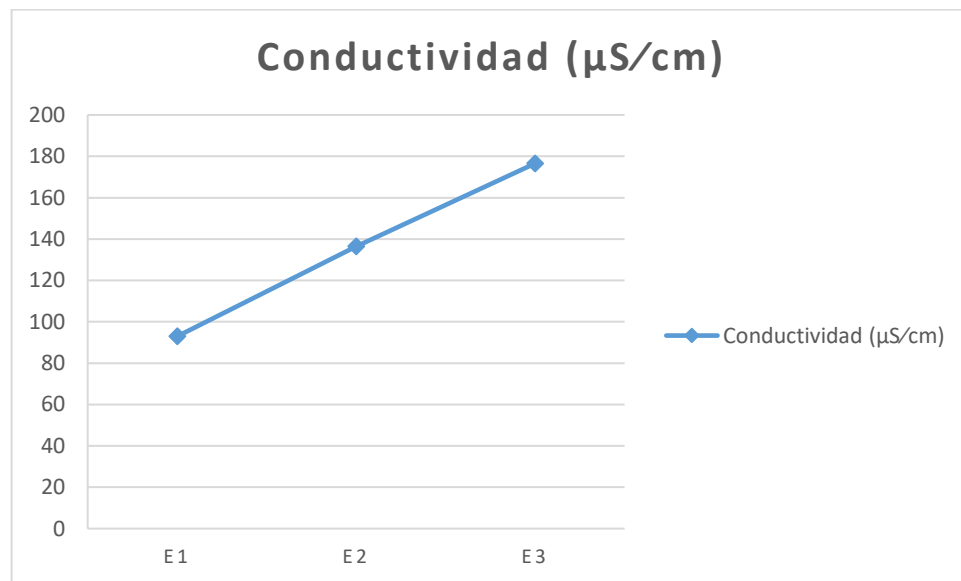
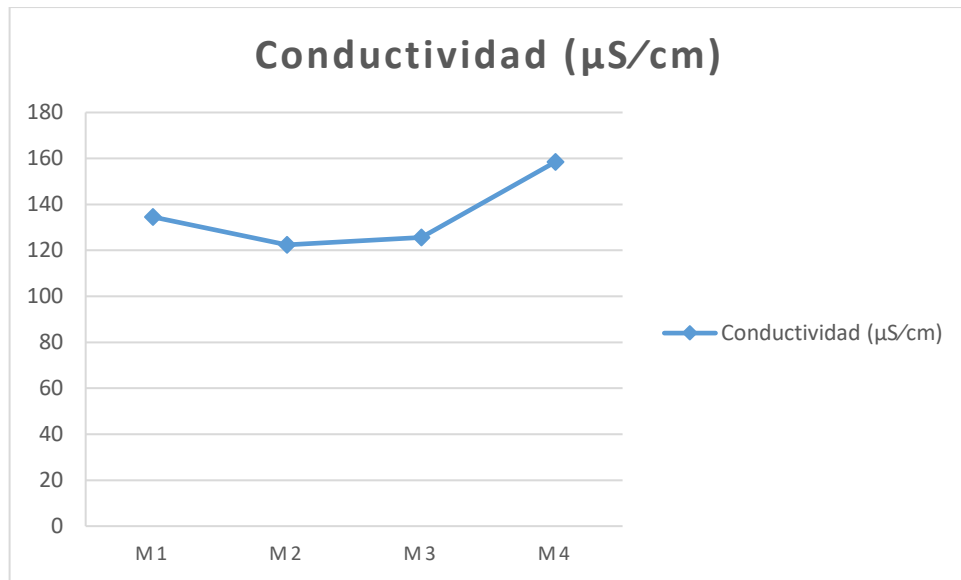


Tabla 16. Promedio del comportamiento de Conductividad, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.8. Conductividad.

Este parámetro aumenta a medida que las concentraciones iónicas son mayores en el agua, en la E3 mostro un valor de 176.35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo este el más alto registrado en la quebrada, lo que se relaciona con la concentración de TDS que también registro valores más elevado en esta estación de muestreo.

Tabla 17. Promedio del comportamiento de Solidos Suspendidos en las tres estaciones de muestreo.

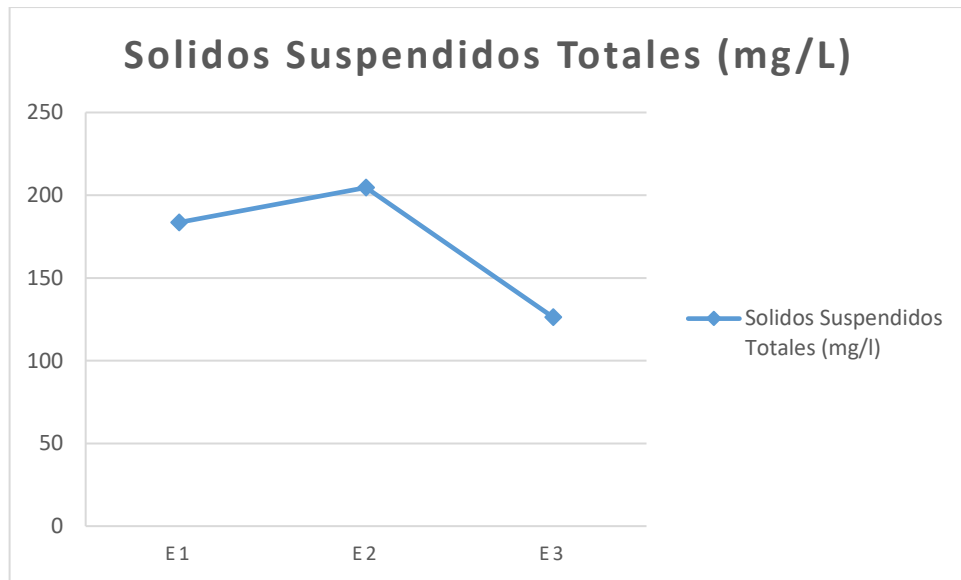
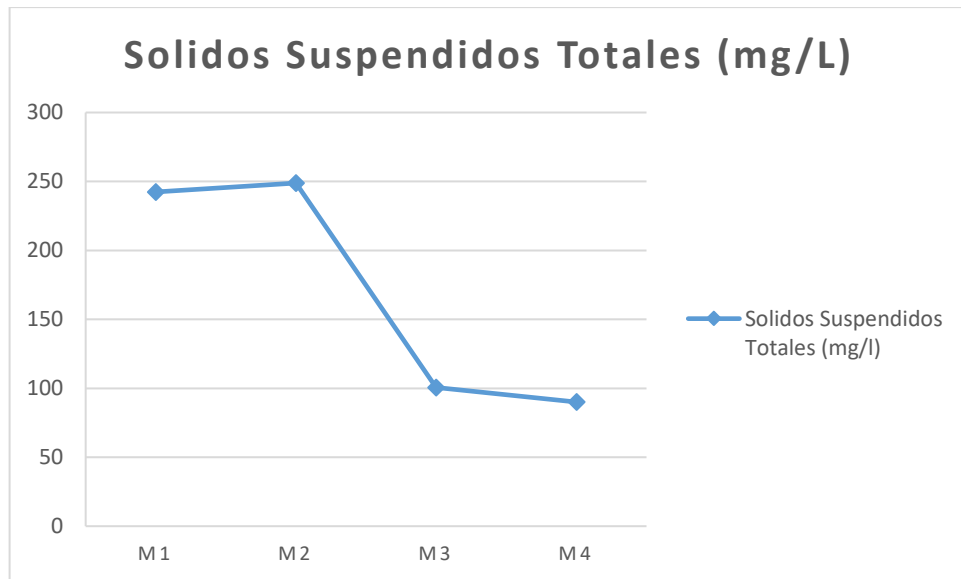


Tabla 18. Promedio del comportamiento de Solidos Suspendidos, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.9. Solidos Suspendidos Totales. La quebrada agua clara mostró valores altos en general, con un promedio de 184.6 mg/l para TSS valores que están por encima de los niveles permitidos según Roldan (1992); las estaciones 2 y 1 mostraron los niveles más altos con valores de 204.1 mg/l y 183.6 mg/L respectivamente, y el promedio más bajo se registró en la E3 con 163.5 mg/l.

Los promedios altos que se registraron para estas dos variables, se atribuyen principalmente a los procesos erosivos que se presentan en algunos puntos de la zona de estudio, los cuales aumentan la cantidad del material particulado en el agua, y a los vertimientos de materia orgánica, este comportamiento se evidencia en la estación 1 y 2 donde se presentan los mayores procesos erosivos y los valores de solidos disueltos se registraron en mayores cantidades (tabla 17).

Tabla 19. Promedio del comportamiento de Turbidez en las tres estaciones de muestreo.

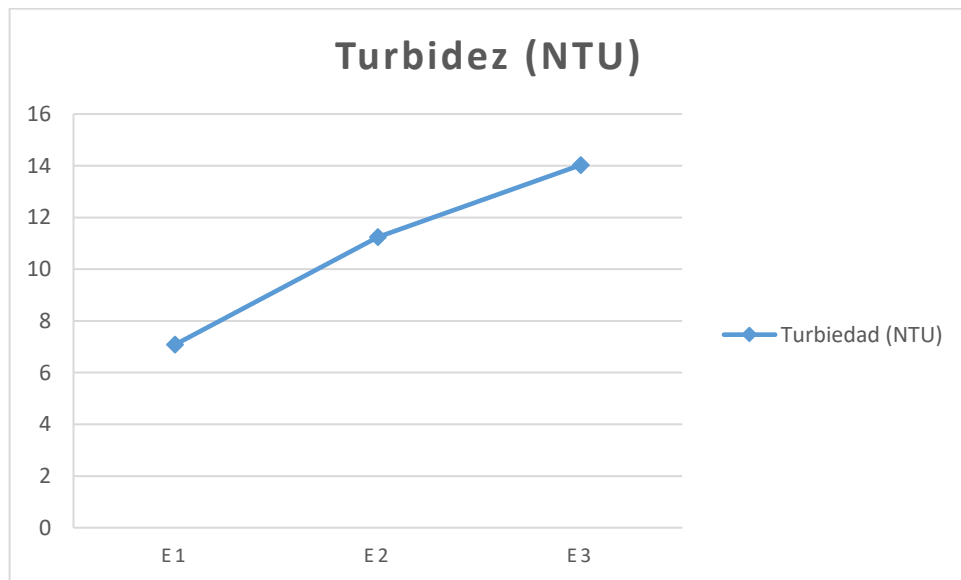
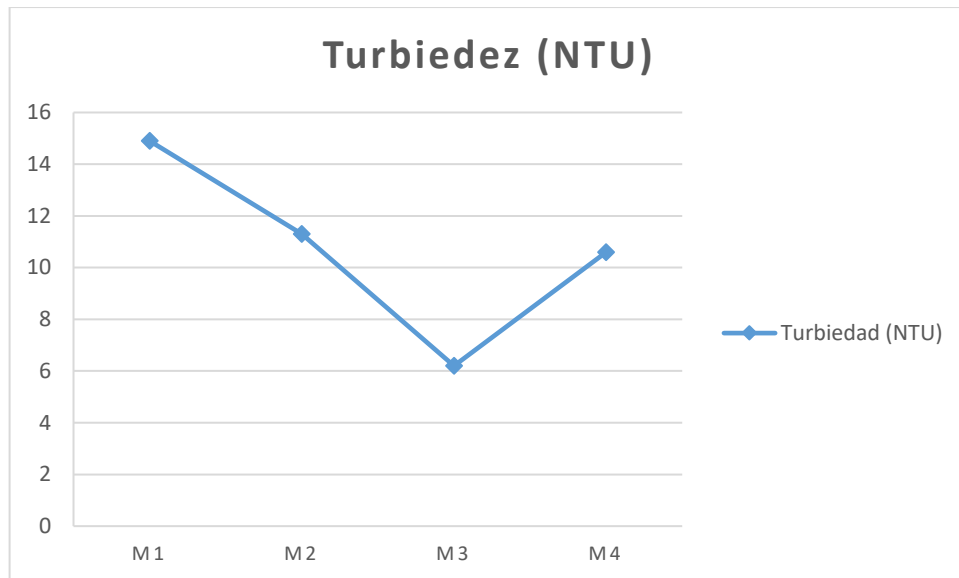


Tabla 20. . Promedio del comportamiento de Turbidez, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



10.2.10. Turbidez.

Se reportaron valores altos en general para Turbidez, valores por encima de los niveles permitidos según Roldan (1992); las estaciones 2 y 3 con valores de 11.2 NTU para la E2 y de 14.0 NTU para la E3, los nivel más bajos se presentaron en la E1 con 7.1NTU.

En las estaciones 2 y 3 se presentan los vertimientos en mayores cantidades, lo que nos hace deducir que a pesar que la turbidez y los sólidos suspendidos totales muestran una relación directa los valores obtenidos se relacionan negativamente ya que no muestran un patrón ascendentes respecto a los resultados, ya que se esperaba que donde se registraron los promedios más altos de turbiedad, se registraran los valores más alto para los sólidos suspendidos lo cual no fue así, lo que nos hace concluir que las concentraciones de solidos suspendidos están determinados por los procesos erosivos y las concentraciones de turbiedad por la cantidad de materia orgánica que se vierte a la quebrada. Este comportamiento también se evidencio durante los cuatro meses de estudio, donde el promedio más alto para solidos suspendido se registró en el mes de Agosto, y el promedio más alto para turbiedad se registró en el mes de Junio (tabla 18, 20).

Tabla 21. Promedio del comportamiento de pH en las tres estaciones de muestreo.

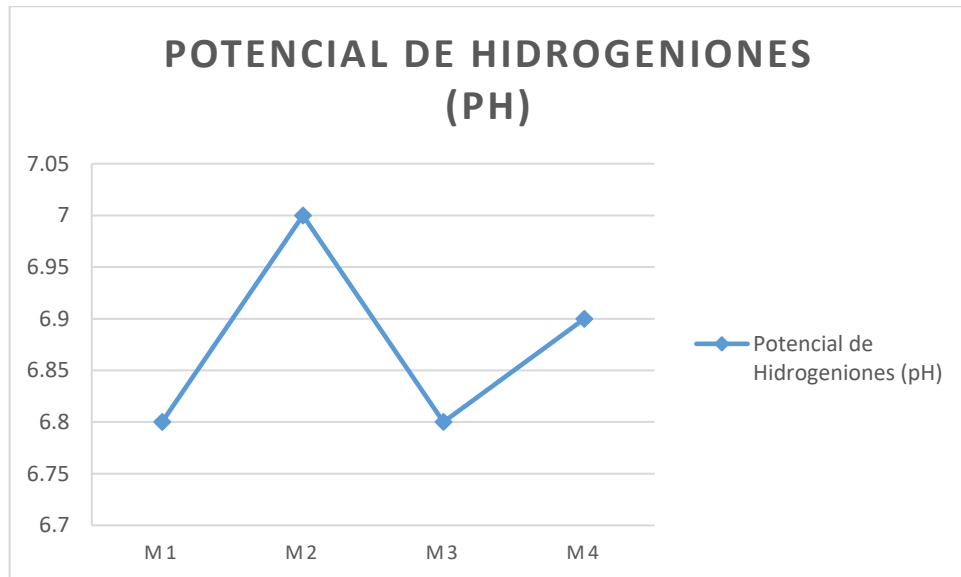
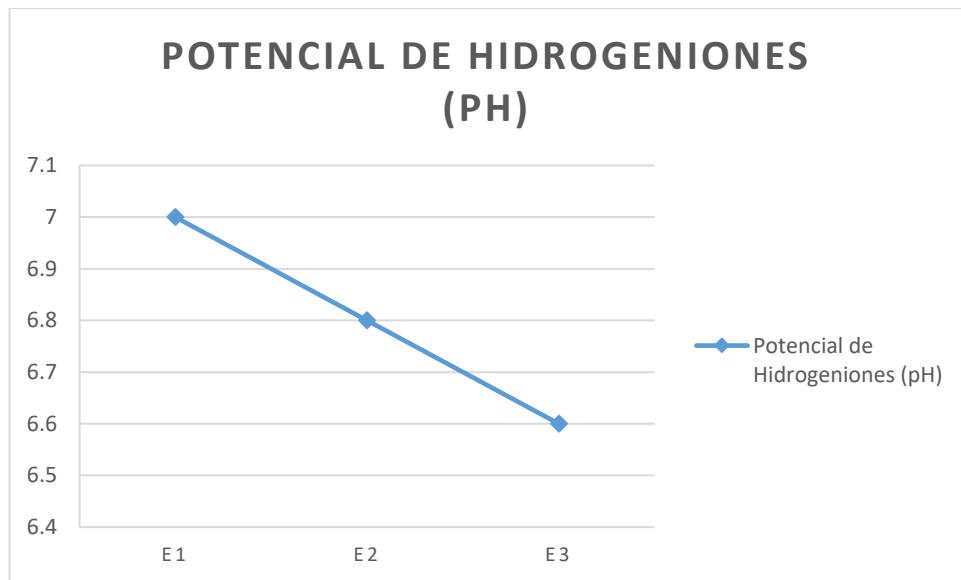


Tabla 22. Promedio del comportamiento de pH, durante los cuatro meses en las tres estaciones de muestreo.



Fuente: Autor

10.2.11. pH.

Las concentraciones promedio para este parámetro no mostraron cambios significativos en las tres estaciones de muestreo al igual que durante los 4 meses de estudio, el valor más bajo se registró en la estación 3 con un valor de 6.6,

estando este dentro de los valores optimo, que indica que el pH de la quebrada es casi neutro con tendencia a acido, por otro lado los valores alcalinidad indican que el sistema tiene una buena actividad buffer.

10.3 Índices de Contaminación (ICO)

Según Cortolima (2006), los índices de contaminación son complementarios, en sentido ecológico, por tanto, permiten precisar problemas ambientales específicos y con ello profundizar en la identificación de taxones con potencial indicador. La Tabla 4 indica las diferentes categorías de clasificación de las aguas de acuerdo con los valores que alcanzan cada uno de los índices.

Cuadro 4. Categorías de contaminación para cada uno de los ICO empleados.

ICO	Contaminación	Escala de Color
0 - 0,2	Ninguna	
> 0,2 - 0,4	Baja	
> 0,4 - 0,6	Media	
> 0,6 - 0,8	Alta	
> 0,8 - 1	Muy Alta	

10.3.1 Índice de contaminación por mineralización: ICOMI

Ramírez *et al.* (1997) dice que el ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 – 1.

Cuadro 5. Resultados finales para determinar el ICOMI

Estaciones de Muestreo	Indicé de Contaminación por Mineralización			
	Conductividad ($\mu S/cm$)	Dureza (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	ICOMI
E1	0.23	0	0	0.076
E2	0.398	0.0077	0	0.135
E3	0.562	0	0	0.189

El índice de contaminación por mineralización arrojó un valor promedio para la quebrada de 0.13, clasificándola como agua no contaminada por mineralización al igual en las tres estaciones de muestreo donde el valor más alto se registró en la

E3 con un valor de 0.2, y el valor más bajo se registró en las estaciones 1 y 2 con un valor de 0.1 para cada una.

Los valores obtenidos para el índice ICOMI no reflejan contaminación por mineralización en términos generales, pero cabe resaltar que la variable alcalinidad registró valores altos de 0.56 mg/l, reflejando un desbalance en los aniones carbonato y bicarbonato, los cuales no alcanzan a ser reflejados en el análisis total del índice, debido a las concentraciones bajas que se registraron para la Dureza y la Conductividad.

10.3.2 Índice de Contaminación por Materia Orgánica ICOMO

Es el valor promedio de los índices de cada una de las 3 variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 a 1; valores muy bajos cercanos a cero reflejan baja contaminación por materia orgánica y cercana a uno lo contrario.

Cuadro 6. Resultados finales para el ICOMO

Estaciones de Muestreo	<i>Índice de Contaminación por Materia Orgánica</i>			
	DBO 5 (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)	Oxígeno (%)	ICOMO
E1	0	0.14	0.325	0.16
E2	0	0.19	0.463	0.22
E3	0	0.19	0.225	0.14

La quebrada Agua Clara arrojó un promedio de 0.17 para el índice de contaminación por materia orgánica lo que significa, que no existe contaminación en la quebrada por este índice en términos generales, pero al realizar el análisis por estaciones de muestreo se pudo notar que en la E2 el promedio obtenido para el ICOMO fue de 0.22, lo indica una baja contaminación, la E1 y E3 no registraron contaminación por materia orgánica.

La DBO5 no registró valores en las tres estaciones de muestreo, mientras que Coliformes fecales y Porcentaje de Saturación de Oxígeno, mostraron valores en cada una de las ellas, reflejando contaminación por coliformes fecales, debido a las actividades ganaderas y pecuarias de la zona que arrojan a la quebrada las heces de estos animales, al igual que las viviendas que no cuentan con el servicio de alcantarillado.

10.3.3. Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos ICOSUS

Sólo utiliza una variable para su cálculo que es el valor de los sólidos suspendidos.

Cuadro 7. Resultado final determinación ICOSUS

<i>Estaciones de muestreo</i>	<i>Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos</i>	
	<i>Sólidos Suspendidos (mg/L)</i>	<i>ICOSUS</i>
E1	0.035	0.035
E2	0.041	0.041
E3	0.017	0.017

Los valores obtenidos para este índice muestran niveles bajo de sólidos suspendidos, los cuales no generan afectación en el ecosistema, y el grado de contaminación que se evidencia es atribuido a los procesos erosivos que se presentan en algunos puntos de la quebrada, los cuales no son lo suficientemente grandes para causar afectación en el cuerpo de agua.

10.3.4. Índice de Contaminación por Trofia ICOTRO

Se fundamenta en la concentración del fósforo total. A diferencia de los anteriores en los cuales se determina un valor entre cero y uno (0 y 1), la concentración del fósforo otorga una calificación cualitativa

Cuadro 8. Determinación del ICOTRO

<i>Estaciones de muestreo</i>	<i>Índice de Contaminación por Trofia</i>	
	<i>Fosforo (mg/L)</i>	<i>ICOTRO</i>
E1	0.006	Oligotrofia
E2	0.02	Mesotrofia
E3	0.05	Eutrofia

Las concentraciones promedio de fósforo total que se registraron en la quebrada fue de 0.02, el cual la clasifica como aguas mesotróficas. Las estaciones de muestreo mostraron características diferentes en cada una de ellas, clasificándose según la tabla 4, en Oligotrófica para la E1, Mesotróficas en la E2 y Eutrófica en la E3, lo que nos muestra el alto grado de intervención antrópica que se genera desde la parte alta de la quebrada hasta su desembocadura en el río Quinamayó.

10.4. Macroinvertebrados acuáticos

Unos de los aspectos más relevantes en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos resulta su utilización como bioindicadores o indicadores biológicos, esencialmente por su amplia distribución y diversidad, los que les permite adaptarse a características muy definidas de calidad de agua. Además, son

capaces de integrar información temporal y su sensibilidad les permite responder a varios tipos de perturbaciones y contaminantes, reflejando el efecto integrado de todas las variables ambientales (Bunn y Davies, 2000).

10.4.1 Estaciona de muestreo # 1.

El primer punto de muestreo se estableció en la zona de Villa Colombia en la parte alta de la quebrada con coordenadas N02° 58' 22.8" W 0,76° 27' 27.4" y una Altitud de 1150msnm, con una temperatura ambiental que oscila entre 24 °C y los 30°C. El tipo de sustrato en el que se desarrollaron los muestreos estuvo conformado por hojarascas, troncos de madera y roca.

Cuadro 9. Macroinvertebrados acuáticos hallados en la estación 1 de la quebrada agua clara.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MUESTRA				SUMA TORIA	%
					1	2	3	4		
Mollusca	Gastropoda	Megastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides</i>	16	4	2	2	24	22
			Physidae	<i>Physa</i>		1	1	3	4	3.7
		Basommatophora	Ancylidae	<i>Ferrissia</i>			1	7	8	7.3
			Planorbidae	<i>Helisoma</i>			1		1	0.91
		Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	2	2		6	10	9.1
		Coleoptera	Psephenidae	<i>Psephenops</i>	1				1	0.91
Artrópoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	<i>Tricorythodes</i>	7	1	10		18	16.5
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>			1		1	0.91
		Coleoptera	Elmidae	<i>Cylopus</i>	5				5	4.58
				<i>Herelmis</i>			1		1	0.91
			Curculionidae	<i>Lissorhotrus</i>			1		1	0.91
		Plecóptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>			1		1	0.91
		Odonata	Calopterigidae	<i>Hetaerina</i>	9		12	13	34	31.1
				TOTAL	41	10	34	35	109	100

En la estación 1 de muestreo el género más abundante fue *Hetaerina* 30% y (34 Ind), seguido de *Melanoides* con 24% y (24 Ind) y *Tricorythodes* 16% y (18 Ind), en menor porcentajes encontramos *Ferrissia* con 7% y (8 Ind), *Cylopus* y *Physa* 4% con (5 Ind) para cada uno y por ultimo *Helisoma*, *Thraulodes*, *Herelmis*, *Lissorhotrus* y *Anacroneuria* con 0.9% y (1 Ind) por cada género.

El mes que más abundancia reporto fue Junio con 40 individuos divididos en 6 géneros, mientras que los meses de Agosto y septiembre reportaron 31 individuos y 10 y 5 géneros respectivamente, el mes que menos individuos reporto fue Julio con 8 individuos y 4 géneros.

Del resultado general de la colecta de macroinvertebrados acuáticos en la estación 1, se puede afirmar que la mayoría de los taxones encontrados son representantes de aguas claras y limpias y no toleran cambios bruscos en la concentración de oxígeno, lo que los hace sensible a la contaminación. Todo esto nos indica, que en la parte alta de la quebrada el agua se encuentra en buenas condiciones y es apta para el buen desarrollo de la comunidad de macroinvertebrado.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que el bajo reporte de abundancias para género que se registró en los meses de Julio y Septiembre está directamente relacionado con la baja concentración de Oxígeno Disuelto que se registró durante estos dos meses, ya que este parámetro juega un papel determinante en la ausencia o presencia de los Macroinvertebrados acuáticos.

10.4.2. Estación de muestreo # 2

El segundo punto de muestreo se estableció en el sector de Campito con coordenadas N 03° 00' 02" W 0,76° 29' 06.4" y una Altitud de 1087msnm, con temperatura ambiental que oscilan entre los 25 y 30 °C. El tipo de sustrato en el que se desarrollaron los muestreos estuvo conformado por hojarascas y rocas.

Cuadro 10. Macroinvertebrados acuáticos hallados en la estación 2 de la quebrada agua clara.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MUESTRA				SUMAT ORIA	%
					56	10	188	128		
Artrópoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	56	10	188	128	382	54.3
		Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	2				2	0.2
			Libellulidae	<i>Elasmothermis</i>			1	1	2	0.2
		Coleoptera	Elmidae	<i>Tropisternus</i>	1				1	0.1
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Procleon</i>			3		3	0.4
Mollusca	Gastropoda	Mesogastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides</i>		3	26	38	67	9.5
		Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>		3	39	195	237	33.7
			Planorbiidae	<i>Helisoma</i>				1	1	0.1

			Ancylidae	Ferrissia			2	6	8	1.1
		TOTAL			59	16	259	369	703	100

Leptonema fue el género que más abundancia registro en la E2 con 54% (382 Ind), seguido de *Physa* con un 34% (237 Ind) y *Melanoides* con 10% y (67 Ind), los registros más bajos se presentaron para el género de *Ferrissia* con 1% y (8 Ind), *Procleon* con 0.4% y (3 Ind) y *Hetaerina* y *Elasmothermis* con 0.3% y (2 Ind) para cada género.

La abundancia en esta zona de la quebrada está limitada por la cantidades de materia orgánica que es vertida a la quebrada, esto se deduce, por la cantidad de individuos que se registraron para en genero *Physa* el cual habita en todo tipo de agua especialmente en aguas contaminadas, lo que indica que la quebrada anteriormente estuvo contaminada y se encuentra en un proceso de depuración, el cual permite la aparición de nuevas especies características de las nuevas condiciones fisicoquímicas que se registran actualmente.

10.4.3. Estaciona de muestreo # 3

El tercer punto de muestreo se estableció unos metros después del puente panamericano con coordenadas N 03° 02' 39,2" W 0,76° 29' 52,4" y una Altitud de 1016msnm, y temperatura que oscila entre los 27 y 32 °C. El tipo de sustrato en el que se desarrollaron los muestreos estuvo conformado por hojarascas y rocas.

Cuadro 11. Macroinvertebrados acuáticos hallados en la estación 3 de la quebrada agua clara.

PHYLUM	CLASE	OERDEN	FAMILIA	GENERO	MUESTRA				SUMA TORIA	%
					1	2	3	4		
Artrópoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Procleon</i>	2				2	1.2
		Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	1				1	0.6
Gastropoda	Mollusca		Thiaridae	<i>Melanoides</i>	2		1	6	9	5.5
		Basommatophora	Physidae	<i>Physa</i>		7	31	5	43	26.4
			Ancylidae	<i>Ferrissia</i>		18	49	41	108	66.2
TOTAL					5	24	81	52	163	100

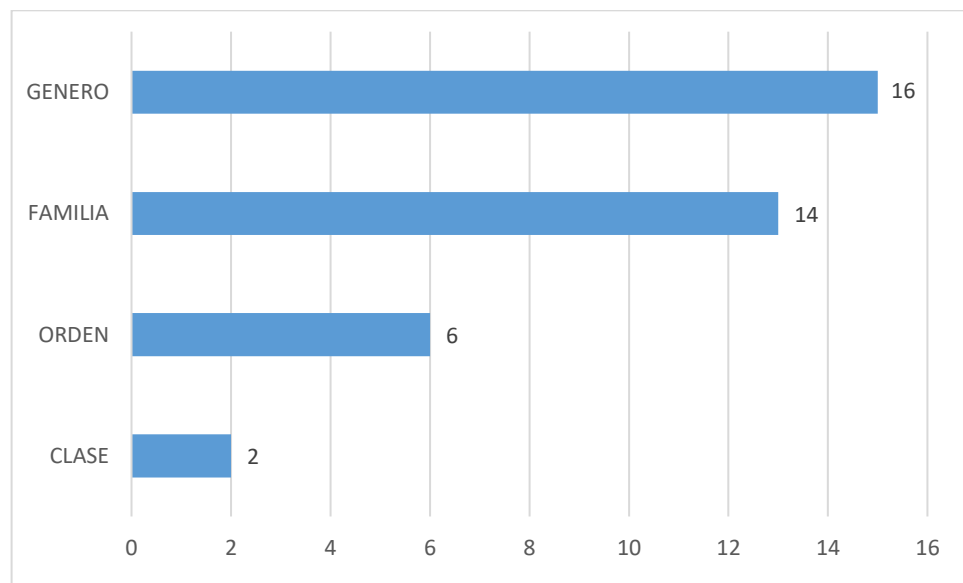
La abundancia más representativa se registró para el género *Ferrissia* con 66% y (108 Ind), *Physa* de igual manera reporto una abundancia considerable de un 26% con (43 Ind), el resto de especie registraron abundancias mínimas de 6% con (9 Ind) para *Melanoides*, 1.2% y (2 Ind) para *Procleon* y 0.6% y (1 Ind) para *Leptonema*.

Durante el periodo de lluvia que se registró en el mes Junio hubo presencia de especies propias de aguas limpias y poco contaminada, las cuales desaparecieron a medida que la temporada de sequía apareció dando paso a especies características de aguas contaminadas que toleran mayores cantidades de materia orgánica, como son los miembros del orden Basommatophora, que en su mayoría son especies de aguas dulce y algunos marinos siendo organismos capaces de desarrollarse en diferentes ambientes, debido la diversidad de hábitos tróficos que exhiben.

10.5. Riqueza.

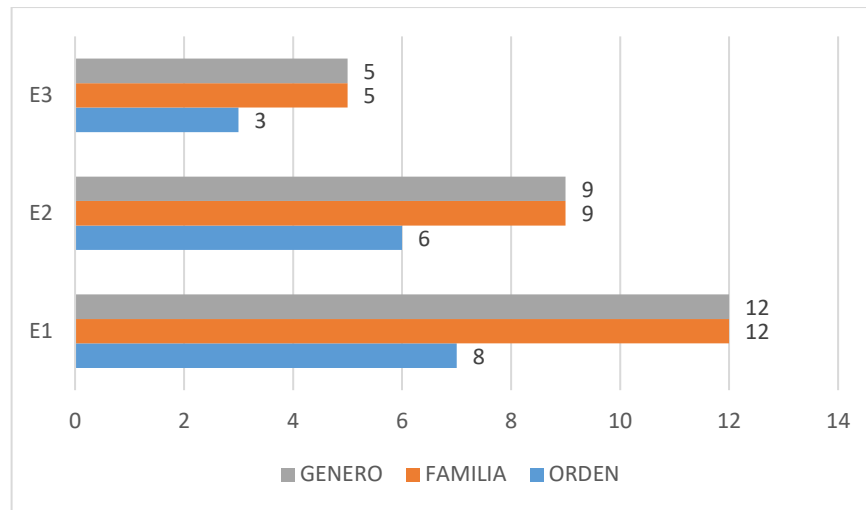
Durante los cuatro meses de muestreo (junio a septiembre), se colectaron un total de 986 individuos distribuidos en 2 Phylum, 2 clase, 6 orden, 14 familia y 16 Géneros (tabla 23).

Tabla 23. Riqueza total de Phylum, Clase, Orden, Familia y Género de Macroinvertebrados acuáticos encontrados en la quebrada Agua Clara.



El orden que mayor riqueza de familia y genero apporto durante la época de estudio fue Basommatophora, Coleoptera y Ephemeroptera cada una con un total de 3 familias; el orden Coleoptera registro 5 géneros la mayoría de ellos presentes en la familia Elmidae. Basommatophora y Ephemeroptera registran 3 géneros, seguido de Odonata con 2 familias y 2 géneros, y finalmente los órdenes Trichoptera y Mesogastropoda con 1 familia y 1 genero cada una.

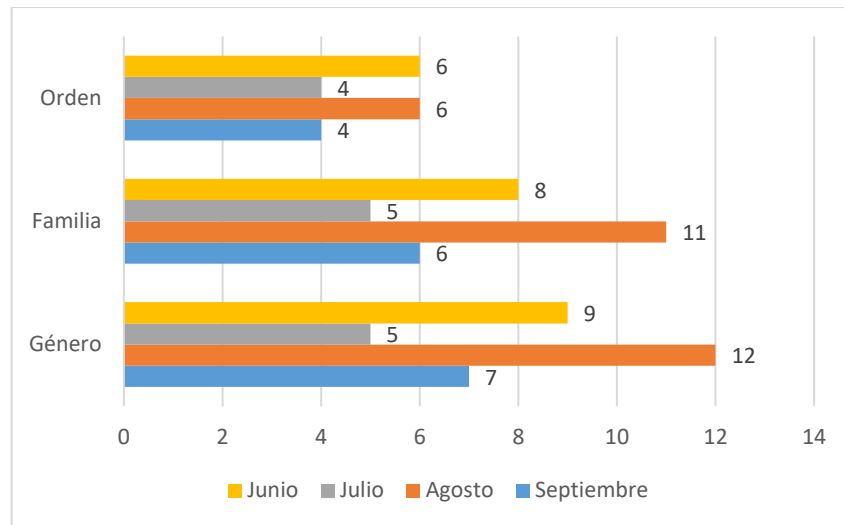
Tabla 24. Riqueza de órdenes, familias y géneros de Macroinvertebrados acuáticos presente en la quebrada.



La estación 1 fue la que aportó la mayor riqueza de órdenes, familia y géneros con un total de 8 órdenes, 12 familias y 12 géneros, ya que en esta estación los niveles de contaminación fueron más bajos propiciando condiciones óptimas para familias sensibles a la contaminación como es el caso de la familia Perlidae, Psephenidae y Leptophlebiidae, que son representantes de aguas claras y limpias, la estación que presentó los niveles más bajos de órdenes, familia y géneros fue la estación 3 con un total de 3 órdenes, 5 familia y géneros, esto se atribuye a que esta estación mostró los niveles más altos de contaminación, lo que limita la existencia para ciertos organismos que son sensibles a los cambios de contaminación por materia orgánica, este comportamiento se evidencia claramente en los organismos colectados que pertenecen a las familias Physidae, Ancyliidae y Planorbidae, que son organismos de aguas contaminadas con alto contenido de materia orgánica.

La estación 1 fue la que aportó la mayor riqueza de órdenes, familia y géneros con un total de 8 órdenes, 12 familias y 12 géneros, ya que en esta estación los niveles de contaminación fueron más bajos propiciando condiciones óptimas para familias sensibles a la contaminación como es el caso de la familia Perlidae, Psephenidae y Leptophlebiidae, que son representantes de aguas claras y limpias, la estación que presentó los niveles más bajos de órdenes, familia y géneros fue la estación 3 con un total de 3 órdenes, 5 familia y géneros, esto se atribuye a que esta estación mostró los niveles más altos de contaminación, lo que limita la existencia para ciertos organismos que son sensibles a los cambios de contaminación por materia orgánica, este comportamiento se evidencia claramente en los organismos colectados que pertenecen a las familias Physidae, Ancyliidae y Planorbidae, que son organismos de aguas contaminadas con alto contenido de materia orgánica.

Tabla 25. Riqueza de órdenes, familias y géneros de Macroinvertebrados acuáticos durante los 4 meses de muestreo.



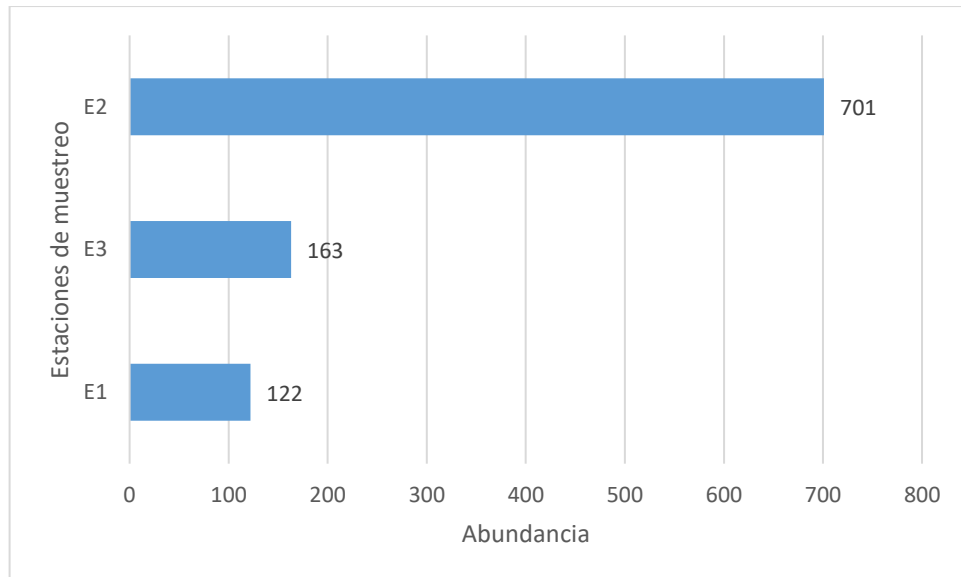
La menor riqueza tanto para órdenes, familias y géneros se registró durante el mes de julio (Tabla 25), los meses que presentaron la mayor riqueza fueron el mes de Agosto y junio, con 6 Orden, 11 Familia y 12 Géneros, 6 Orden, Familia y 9 Género respectivamente, esto se puede atribuir a las variaciones en los niveles de precipitación que se presentaron durante los cuatro meses de muestreo, el mes de junio reportó un nivel de precipitación de 126.6 mms en 13 días de lluvia y el mes de julio reportó niveles de 25.0 mms en 6 días de lluvias. En el mes de julio se registró una baja precipitación pero el muestreo se realizó un día después que hubo lluvia lo que pudo haber influenciado en los niveles bajos de captura de estos individuos, ya que cuando llueve el caudal del río aumenta así como las corrientes de agua, arrastrando una gran cantidad de organismos que no pueden adherirse a las rocas o el tipo de sustrato donde ellos habitan.

Tabla 8. Abundancia de los Macroinvertebrados acuáticos presentes en las tres estaciones de muestreo

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESTACIONES			Total	% abundancia	
					E1	E2	E3			
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	10	382	1	393	39.8	
		Coleoptera	Psephenidae		<i>Psephenops</i>	1	0	0	1	0.1
			Elmidae		<i>Cyllopus</i>	5	0	0	5	0.5
					<i>Heterelmis</i>	20	0	0	20	2.0
					<i>Tropisternus</i>	0	2	0	2	0.2
			Curculionidae		<i>Lissorhотrus</i>	1	0	0	1	0.1
		Odonata	Calopterigidae		<i>Hetaerina</i>	24	2	0	26	2.6
			Libellulidae		<i>Elasmothermis</i>	0	2	0	2	0.2
		Ephemeroptera	Tricorythidae		<i>Tricorythodes</i>	21	0	0	21	2.1
			Baetidae		<i>Procleon</i>	0	0	2	2	0.2
			Leptophlebiidae		<i>Thraulodes</i>	1	0	0	1	0.1
Plecóptera		Perlidae		<i>Anacroneuria</i>	1	0	0	1	0.1	
Mollusca	Gastropoda	Mesogastropoda	Thiaridae		<i>Melanoides</i>	24	67	9	100	10.1
		Basommatophora	Physidae		<i>Physa</i>	5	237	43	285	28.9
			Ancylidae		<i>Ferrissia</i>	8	8	108	124	12.5
			Planorbidae		<i>Helisoma</i>	1	1	0	2	0.2
Total Abundancias		7	14	16	122	701	163	986	100	

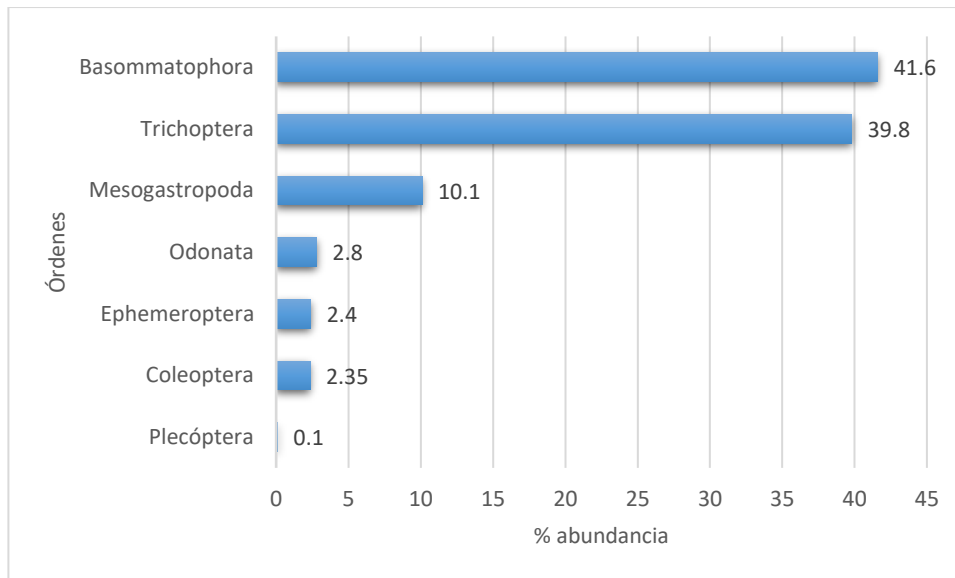
10.6. Abundancia.

Tabla 26. Abundancia de los individuos de Macroinvertebrados presentes en las 3 estaciones de muestreo.



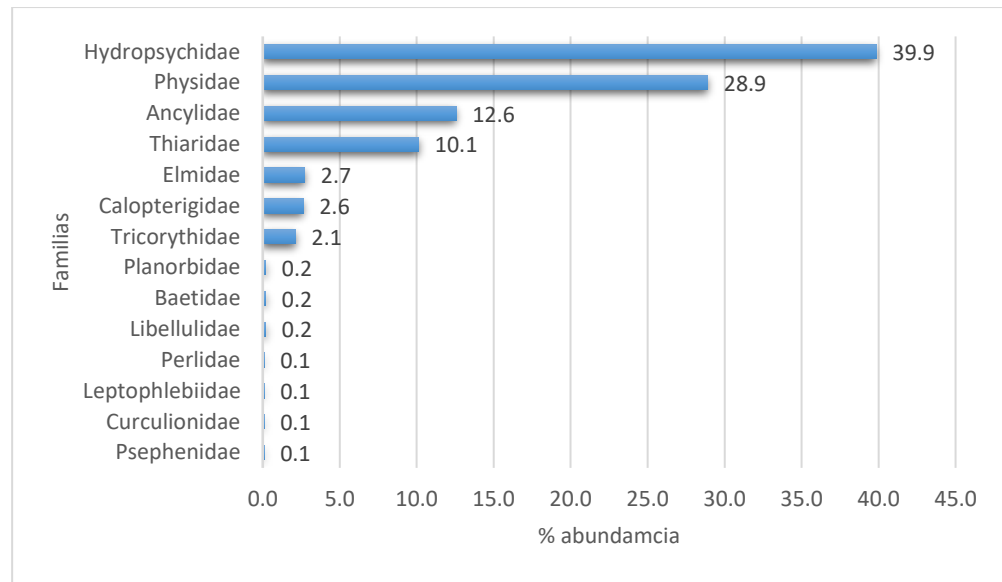
La tabla 26, muestra que en la E2 se registró el mayor número de individuos colectados (701 Ind) durante la época de estudio, siendo *Leptonema* el más abundante con (382 Ind), seguido de *Physa* con (237 Ind), en la E1 se registró la menor taxa de individuo colectado por especie, el comportamiento que evidenciamos en la estación 2, donde encontramos una alta población de individuos de aguas limpias y claras (*Leptonema*) y organismos de aguas contaminada por materia orgánica (*Physa*), nos indica que la parte media de la quebrada anteriormente paso por un proceso de contaminación el cual era propicio para el buen desarrollo del genero *Physa*, debido a que esta especie es característica de aguas contaminada por materia orgánica y tolera niveles altos de contaminación, la cual, está pasando por un proceso de autodepuración como lo indica la presencia del género *Leptonema* que es una especie de aguas limpias y es sensible a los cambios de contaminación del agua, indicándonos bajos niveles de contaminación por materia orgánica.

Tabla 27. . Porcentaje de abundancia de los Órdenes de Macroinvertebrados acuáticos presente en la quebrada.



Durante los 4 meses de estudio los órdenes con mayor abundancia registrada fueron Basommatophora, Trichoptera y Mesogastropoda los cuales juntos suman el 91.5% de los organismos presentes en la quebrada, el 8.5% restante lo conforman los órdenes Odonata, Ephemeroptera, Coleoptera y Plecóptera. Este 8.5% lo integran organismos característicos de agua limpias sensibles a los cambios de contaminación, los cuales a medida que aumenta las concentraciones en la quebrada y los niveles de estrés se hacen mayores, comienzan a desaparecer y darle paso a organismo con rango de tolerancia más amplios como *Leptonema* del orden Trichoptera, los órdenes Basommatophora y Mesogastropoda, nos indican la presencia de materia orgánica en la quebrada, la cual no se encuentra en concentraciones muy elevadas por la presencia de organismos poco sensible como *Leptonema* que se encuentra en grandes porcentaje de abundancia, debido a que las condiciones del hábitat son propicia para su buen desarrollo.

Tabla 28. Abundancia relativa de las familias de Macroinvertebrados acuáticos presentes en la 3 estaciones.



Las familias con mayor abundancia registrada fueron Hydropsychidae, Physidae, Ancyliidae y Thiaridae con porcentaje del 91.5, de las cuales tres de estas familias se caracterizan por habitar en aguas contaminadas con un alto contenido de materia orgánica, y una en aguas poco contaminada con bajo contenido de materia orgánica. Hydropsychidae fue la familia más abundante con el género *Leptonema*, el cual indica que la quebrada está en condiciones aceptables debido a que este género solo se encuentra en aguas poco contaminadas, mientras que las familias Physidae, Ancyliidae y Thiaridae, se encuentran en aguas con alto contenido de materia orgánica, lo que hace pensar que la presencia en la quebrada obedece a los variados niveles tolerancia de estas familias los cuales hacen que su presencia en determinado sitio sea por mucho más tiempo.

10.7. Índice BMWP

El índice BMWP consiste en la ordenación de los Macroinvertebrados acuáticos a nivel taxonómico de familia en diez grupos según una escala de mayor a menor tolerancia a las alteraciones de las condiciones normales naturales de los cuerpos de aguas asignando valores entre uno y diez puntos respectivamente Alba & Giménez (1987) citado por Zamora

Cuadro 12. Valores de BMWP/Col para las familias encontradas en cada estación de muestreo de la quebrada Agua Clara.

FAMILIA	ESTACIONES		
	E1	E2	E3
Psephenidae	10		
Perlidae	10		
Leptophlebiidae	9		
Hydropsychidae	8	8	
Caloptergidae	8	8	8
Baetidae			8
Elmidae	7		
Tricorythidae	7		
Ancyliidae	7	7	7
Planorbidae	7	7	
Libellulidae			6
Curculionidae	5		
Thiaridae	5	5	5
Physidae	3	3	3
Puntaje BMWP	86	38	37
Clase	III	IV	IV
Calidad	Aceptables	Dudosa	Dudosa
Características	Aguas Medianamente Contaminadas	Aguas Contaminadas	Aguas Contaminadas
Colores			

El índice de calidad de agua BMWP, indica que en la quebrada Agua Clara, son evidentes algunos efectos de contaminación, lo que la ubica en clase III como aguas aceptables, en la E2 y E3 de la quebrada las aguas están contaminadas, y se clasifican como aguas dudosas, donde se evidencian la presencia de organismos con rangos de tolerancia un poco más amplios, como son *Physa*, *Ferrissia* y *Helisoma*, comparado con los de la estación 1 que mostro aguas medianamente contaminadas, donde las condiciones ecológicas de los sistemas pueden estar limitando el establecimiento de algunos organismos con requerimientos ecológicos mucho más específicos. Al comparar los resultados del índice BMWP con los análisis fisicoquímicos nos damos cuenta que la contaminación no se presenta en tales características, debido a que los análisis de los diferentes parámetros fisicoquímicos no muestran una contaminación tan alta que permita clasificar la quebrada como contaminada.

Las tres estaciones de muestreo registraron valores bajos de BMWP, aunque las familias encontradas son de organismos sensibles a la contaminación, un 79% de las familias colectadas tienen valores entre 10 y 7, lo que indica que son aguas muy limpias, solo unos pocos (21%) son tolerante a la contaminación con valores entre 5 – 3, que evidencian contaminación por materia orgánica, sin embargo a medida que se pasa de la e1 a la e3 desaparecen muchas familias sensibles, lo que evidencia factores de estrés.

Con base en lo anterior, podemos deducir que los valores bajos registrados para el índice de contaminación BMWP se deben a la sensibilidad de este índice respecto a la eficiencia del muestreo, el cual no fue lo suficientemente efectivo

como para registrar un número mayor de familia de Macroinvertebrados acuáticos, debido a que las muestras colectadas salían con alta cantidad de sedimento lo que dificultó la separación en campo de los individuos por la poca visualización de ellos y por el tamaño que en ocasiones son imperceptibles para el ojo humano.

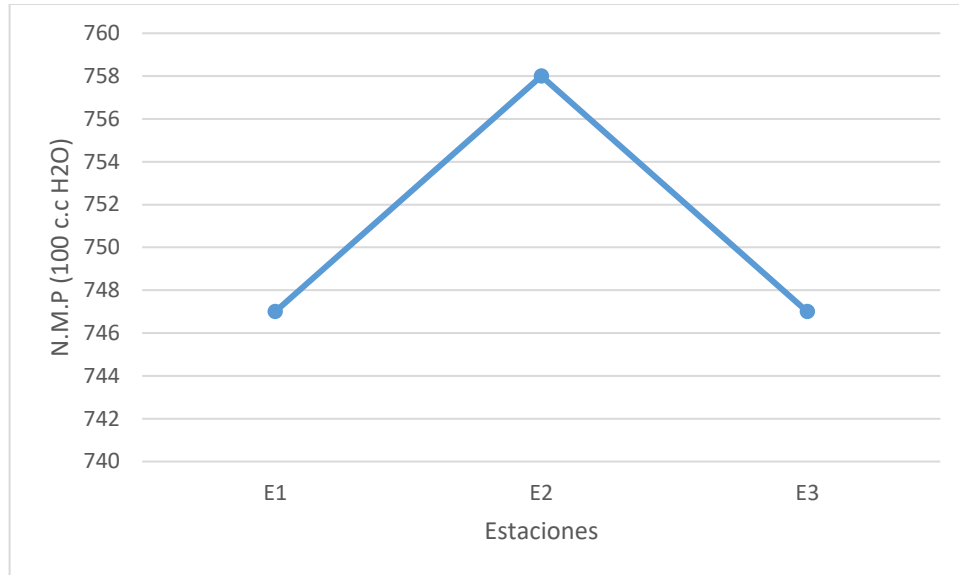
Cuadro 13. Valores de BMWP/Col para las familias encontradas durante los 4 meses de muestreo

FAMILIA	MESES			
	M1	M2	M3	M4
Psephenidae	10			
Perlidae			10	
Leptophlebiidae			9	
Hydropsychidae	8	8		8
Calopterygidae	8		8	8
Baetidae	8		8	
Elmidae	7		7	
Tricorythidae	7	7	7	
Ancyliidae		7	7	7
Planorbidae			7	7
Libellulidae			6	6
Curculionidae			5	
Thiaridae	5	5	5	5
Physidae		5	3	3
Puntaje BMWP	53	30	82	44
Clase	IV	V	III	IV
Calidad	Dudosa	Crítica	Aceptable	Dudosa
Características	Aguas contaminadas	Aguas muy contaminadas	Aguas medianamente contaminadas	Aguas contaminadas
Colores				

El puntaje más alto para el índice BMWP se registró en el mes de agosto en época de baja pluviosidad, con una puntuación 82 con características de agua medianamente contaminadas, mientras que en los otros tres meses las puntuaciones clasifican las aguas como contaminadas; este comportamiento disímil se atribuye a la ineffectividad del muestreo, debido a que en los tres últimos meses de estudio la pluviosidad mostró un comportamiento similar de baja densidad, siendo la pluviosidad uno de los factores determinantes que influyen en la captura de Macroinvertebrados acuáticos.

10.8 Análisis Microbiológicos.

Tabla 29. Número Más Probable (N.M.P) en las tres estaciones.



El promedio de los Números Más Probables (N.M.P) obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo (Tabla 29), muestran valores altos según la resolución 2115 de 2007, a consecuencia de los vertimientos de origen domésticos y pecuario que se originan en la quebrada, en la E1 el valor promedio fue de 747 N.M.P, algo inesperado debido a que en esta zona los vertimientos son menores al igual que el número de viviendas, lo que nos hace pensar que el alto valor obtenido puede atribuirse a la fincas ganaderas y potreros que rodean la parte alta de la quebrada, a pesar que no se observó tuberías que mostraran algún tipo de vertimiento.

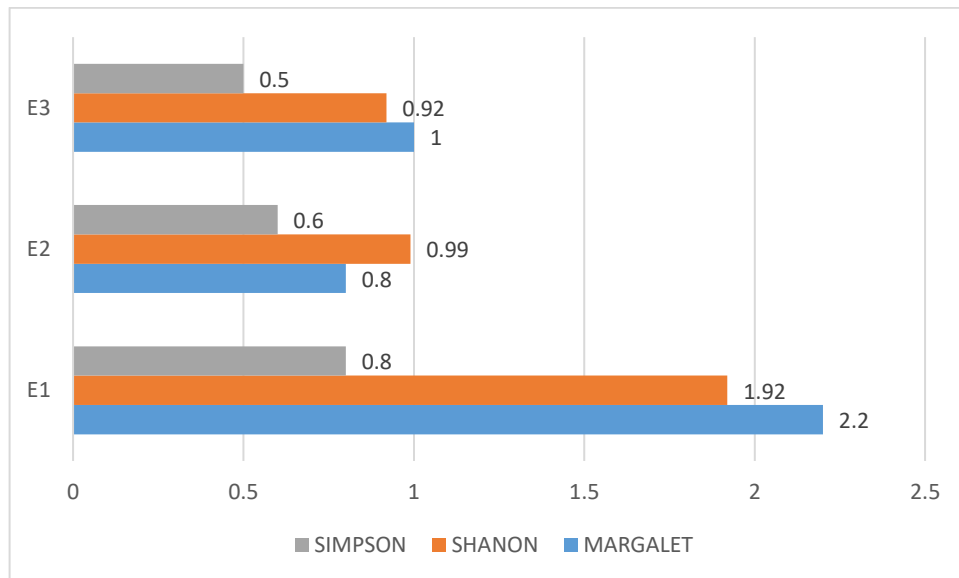
En la prueba confirmativa se evidencio presencia de *Escherichia coli* y *Enterobacter* en las tres estaciones de muestreo, caso que reviste de gran importancia, debido a que estas bacterias son patógenas y causa infecciones del trato urinario e infecciones intestinales como diarrea.

10.9. Índices Ecológicos.

Cuadro 14. Índices Ecológicos Quebrada Agua Clara

Índices	E1	E2	E3	Promedio
Riqueza	13	8	5	9
Abundancia	122	701	163	329
Dominancia	0.8	0.6	0.5	0.6
Shannon_H	1.92	0.99	0.92	1.27
Márgalet	2.2	0.8	1	1.3

Tabla 30. Promedio de los índices ecológico de las tres estaciones



Fuente: Autor

El valor promedio de la diversidad de Shannon (H) registrado en la quebrada agua clara es de 1.3 bits/Ind, siendo la estación 1 con 1.92 bits/Ind, la que reportó el valor más relevante, donde las condiciones ecológicas específicas del sitio, favorecen la oferta de un mayor número de biotipos en donde los organismos integrantes de estas comunidades encuentran las condiciones propicias para su establecimiento y permanencia en esta zona de muestreo. Los valores registrados para las tres estaciones muestran claramente que existen intervenciones antrópicas que están generando una baja diversidad biológica, a consecuencia de las altas descargas de materia orgánica.

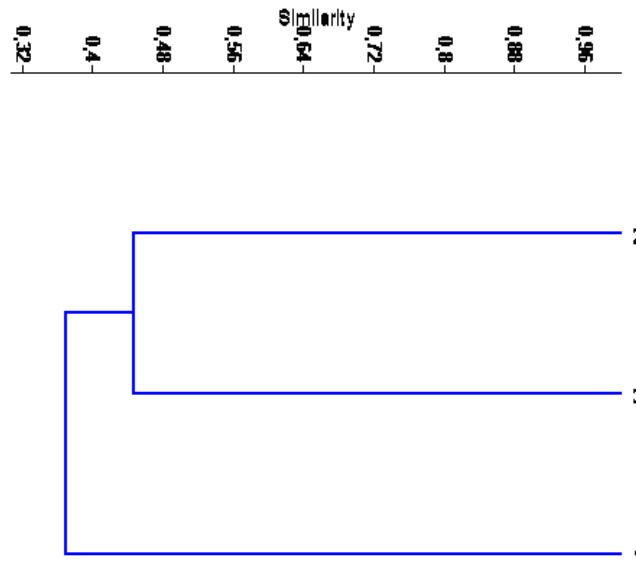
En cuanto a la Riqueza específica de Márgalet, podría decirse que su mayor valor se reportó en la estación 1, donde posiblemente la variabilidad de hábitat favoreció la captura de una mayor diversidad de especies. Estos valores también obedecen

a las altas concentraciones de oxígeno disuelto que se registraron en esta estación que hacen que haya una mayor variedad de taxa por las condiciones favorables para su normal desarrollo.

En la Dominancia de Simpson, se aprecian patrones secuenciales de orden descendiente desde la parte alta hasta la parte baja de la quebrada con valores de 0.8 hasta 0.5 respectivamente, indicando una probabilidad alta en la estación 1 de 0.8 la cual nos indica que es muy probable que en una muestra aparezcan dos individuos de diferentes especies. Esta tendencia, obedece en gran parte a las concentraciones de materia orgánica que aumenta su proporción a medida que se desciende por la quebrada, interfiriendo con los procesos fisiológicos de muchas especies de Macroinvertebrados, las cuales tienden a desaparecer por la poca tolerancia a este tipo de contaminantes y al déficit de oxígeno disuelto que ocasiona el aumento de la materia orgánica en el agua.

10.9.1 Similaridad de Jaccard

Tabla 31. Similaridad de Jaccard en las tres estaciones de muestreo



Las estaciones 2 y 3 presentaron la mayor Similaridad entre sí, en comparación con la estación 1, con una Similaridad de 0.444, donde se compartieron géneros como *Leptonema*, *Melanoides*, *Physa* y *Ferrissia*, seguido de la estación 1 y 2 con Similaridad de 0.428, con géneros como *Leptonema*, *Hetaerina*, *Melanoides*,

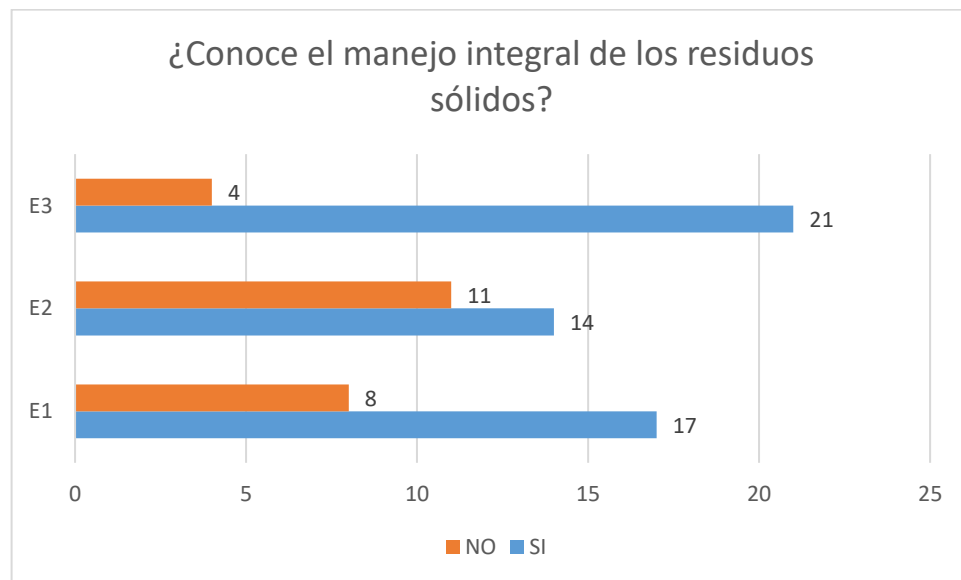
Physa, *Ferrissia* y *Helisoma*, mientras que las estaciones 1 y 3 presentaron el promedio más bajo con 0.307 y géneros como *Leptonema*, *Melanoides Physa* y *Ferrissia*, los géneros *Hetaerina* y *Helisoma* solo se compartieron entre las estaciones 1 y 2, mientras el resto de todos los géneros se compartieron en todas las estaciones.

La Similaridad presentada entre estas dos estaciones, se debe en gran parte al tipo de ecosistema en el que se realizaron los muestreos, el cual estuvo conformado por hojarasca y rocas, también se atribuye a la contaminación por materia orgánica, que en estas estaciones se presentaron en volúmenes más elevados.

10.10. Resultado de la encuesta.

Se escogieron 75 viviendas al azar, 25 por cada estación de muestreo, las cuales se les realizó una encuesta que arrojó los siguientes resultados

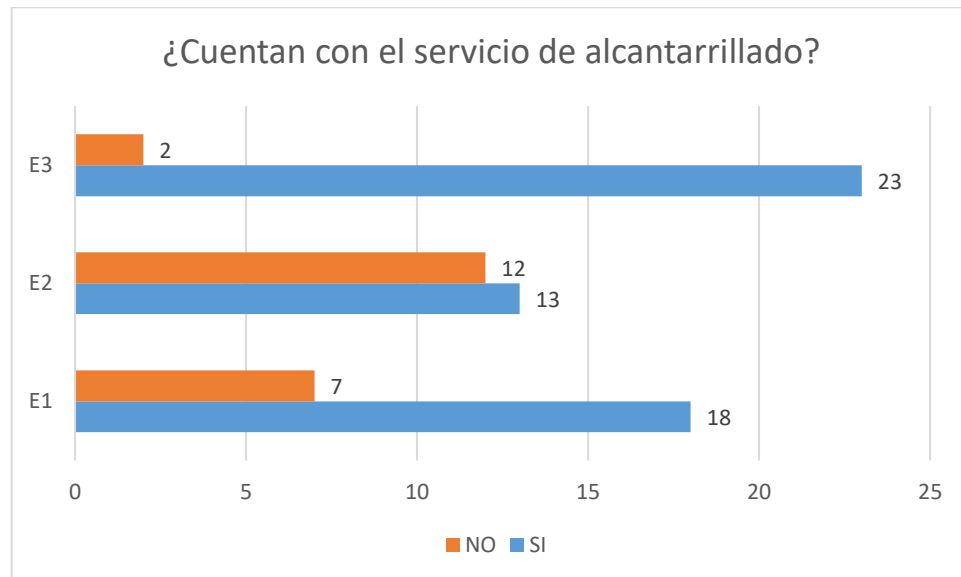
Tabla 32. Manejo de los residuos sólidos en el área de estudio



El conocimiento acerca del manejo de los residuos sólidos en la población cercana a la quebrada agua clara, muestra resultados preocupante en la estación 2, donde los niveles de desconocimiento son de un 44% cifra que se asocia al grado de escolaridad de las personas encargadas de las viviendas, el cual en algunos casos no han terminado la primaria ni el bachillerato, solo una pequeña cantidad han terminado el bachillerato y poseen un nivel técnico de escolaridad, la estación 1 fue la que mostro los niveles de conocimientos más elevados a cerca del manejo de los residuos.

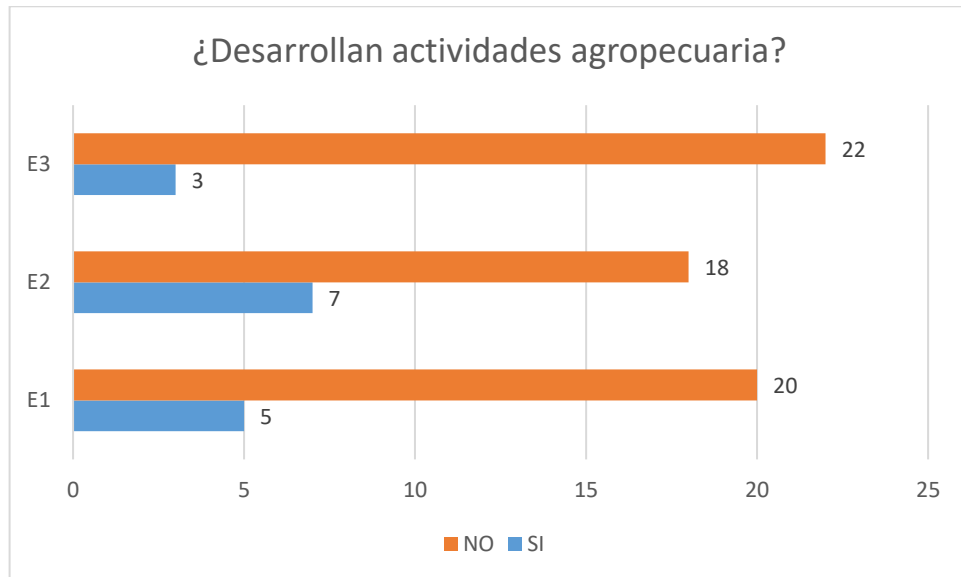
Cabe resaltar que a pesar de que la gran mayoría de la población cercana a la quebrada poseen un conocimiento sobre el manejo de estos residuos no lo aplican debido a que este genera un gasto que ellos consideran innecesario por la mayor cantidad de bolsas de basura que se deben emplear a la hora de la separación de los residuos, “sabiendo que en su disposición final estos son agrupados y no se les hace ningún tipo de control en los rellenos sanitarios donde finalizan”, palabras dicha por la comunidad encuestada.

Tabla 33. Viviendas con servicio de Alcantarillado



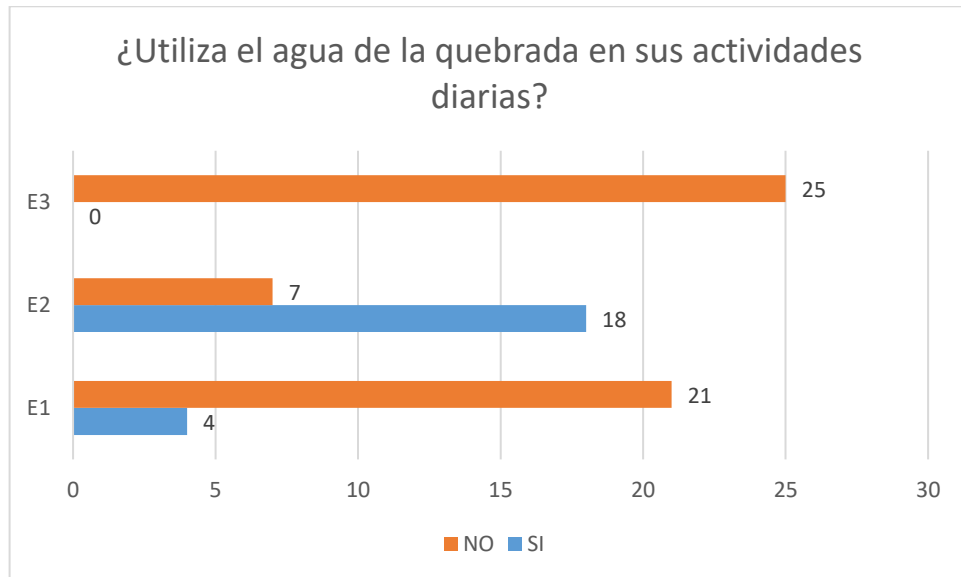
Los valores obtenidos según la encuesta, las viviendas que cuentan con el servicio de alcantarillado en la quebrada es de un 72%, siendo las estaciones 1 y 2 las más afectadas, con porcentajes de 72 y 52 % del total de viviendas que cuentan con este servicio. En la actualidad, en el sector de campito (E2) se están adelantando trabajo, para la implementación de este servicio, lo que reducirá en gran parte los vertimientos de aguas residuales, que en la actualidad influyen en el deterioro de calidad de agua de la quebrada, por las altas cargas de materia orgánica que contienen los vertimientos.

Tabla 34. Promedio de viviendas que desarrollan actividades agropecuarias



Las actividades agropecuarias de la zona, a pesar que mostraron valores que se pueden considerar como importante en cuanto al número de viviendas que realizan esta práctica, podríamos decir que el impacto causado se considera mínimo debido a que esta actividad se realiza a pequeña escala, mas sin embargo no deja de preocupar ya que los vertimientos son directo y frecuentes a la quebrada y estos podrían aumentar en un futuro causando un mayor impacto al ecosistema.

Tabla 35. Promedio de viviendas que consumen agua de la quebrada



El uso del recurso agua en la estación 2 de la quebrada reporto valores alarmantes de un 72% de la población que consume este líquido en sus actividades diarias, a tal punto que cuentan con sistema de almacenamiento de agua que en épocas de baja precipitación se recoge de la quebrada, la cual es utilizada sin ningún tratamiento de potabilización, poniendo en riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales a la población infantil que es la más vulnerable en estos casos, debido a la presencia de microorganismos patógenos que viven en el agua.

Lo más inquietante del asunto es el riesgo epidemiológico al cual mantiene expuesto los habitantes de esta zona de la quebrada, ya que ellos afirman que los recipientes donde almacenan el agua se encuentran en grandes cantidades organismos del genero Leptonema, una especie que indica contaminación leve del agua, la cual al ser consumida con frecuencia puede generar afectaciones en la salud de los consumidores.

11. CONCLUSIONES

El estado ecológico de la quebrada agua clara se encuentra en condiciones aceptable, las características fisicoquímicas y biológicas actuales del ecosistema sirven como hábitat propicio para el buen desarrollo de muchas especies.

En cuanto a la evaluación de impacto ambiental de Leopold, se pudo establecer que los impactos generados en la quebrada en su mayoría son de clasificación irrelevante, siendo los componentes agua y suelo los más impactados con problemas de contaminación orgánica procedentes de las casa y de las actividades agrícolas y pecuarias, a esto se le suma el manejo inadecuado de las basuras que actúa como un foco de contaminación.

De acuerdo con la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en la quebrada, se reportaron 2, clase, 7 orden, 14 familias y 16 géneros, siendo los géneros *Leptonema*, *Physa* y *Ferrissia* los más representativos, mostrando una mayor abundancia en las estaciones 2 y 3, y una mejor distribución en la estación 1 con 13 géneros de los 16 colectados. De acuerdo al carácter de bioindicadores de estos organismos la parte alta de la quebrada tiene características de aguas oligo-mesotróficas (E1), mientras que en la parte baja las aguas son meso-eutróficas (E3). La estación 2 por ser una zona transicional presenta individuos característicos de aguas tanto Oligo-Meso como Meso-Eutróficas; la presencia de estos grupos indica que las condiciones si bien están alteradas no sobrepasan los límites de tolerancia de individuos sensibles como los tricópteros, efemerópteros y plecópteros.

Los Índices de Contaminación (ICO) en su mayoría clasifican la quebrada como no contaminada por los niveles tan bajo que se registraron según las variables que definen cada índice, caso contrario mostro el índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO), que clasifico la E1 como aguas oligotróficas, la E2 como aguas mesotróficas y la E3 como aguas eutróficas. Aunque los índices clasifican la quebrada como contaminada, existen variables dentro de cada que arrojaron algún tipo de contaminación como ICOMO que no presento contaminación por materia orgánica pero reporto la presencia de coliformes fecales en las tres estaciones producto de las actividades ganaderas y pecuaria de la zona. Por otro lado, el índice ICOTRO registro valores diferentes en cada estación clasificando la E3 como aguas eutróficas.

El índice de Calidad de aguas BMWP muestra que el agua de la quebrada, comienza alterarse drásticamente a partir de la estación 2 y se agudiza a medida que hace el recorrido por la zona urbana disminuyendo los valores BMWP y así su calidad, debido a las aguas residuales y basuras provenientes de los barrios aledaños. La estación 1 mostró la mejor calidad de agua clasificándose como agua de calidad captable con características de aguas medianamente

contaminadas; a partir de la estación 2 y hasta la estación 3 la calidad disminuye clasificándose como aguas contaminadas de calidad dudosa.

Los parámetros fisicoquímicos mostraron comportamientos que se pueden relacionar con los problemas de alteraciones sufridas a lo largo de la quebrada. A medida que la concentración aumenta los parámetros fisicoquímicos comienzan a fluctuar cambiando los valores de una estación a otra.

La temperatura aumenta registrando su mayor valor en la E2 donde la vegetación ha sido talada y la penetración lumínica es mayor incidiendo directamente en este incremento.

Los gases por su parte, muestran igual comportamiento registrando cambios significativos en la E2 donde los niveles de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno están por debajo de los niveles permitidos debido a los procesos de óxido reducción que se generan por la descomposición de la materia orgánica.

De acuerdo con los resultados de los nutrientes, Nitrato, Nitrito, Fosfato y Amonio, en todo el recorrido de la quebrada no reflejan impacto que causen daño a las personas y a la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada, los valores de los nutrientes muestran un comportamiento ascendente que va desde la E1 hasta la E3, comportamiento normal cuando hay vertimiento de tipo doméstico y pecuario.

La baja actividad iónica en el sistema produjo valores de conductividad, dureza y alcalinidad bajos, clasificando el agua de la quebrada como aguas blandas poco productiva con un valor de sólidos disueltos entre 66.5 mg/L y 123 mg/L.

El pH arrojó valores normales dentro de los niveles permitidos para el buen desarrollo de la comunidad de macroinvertebrado de la quebrada, con valores que oscilan entre 6.6 y 7.

Los resultados microbiológicos mostraron contaminación por materia orgánica en toda la quebrada y presencia de bacterias patógenas como *Escherichia coli* y *Enterobacter* caso que reviste de gran importancia ya que son organismos que afectan la salud de los seres humanos.

12. RECOMENDACIONES

Diseñar un plan de monitoreo constante de la calidad del agua en la quebrada agua clara y en las demás fuentes hídricas que drenan por el municipio de Santander de Quilichao, para tener un control y poder tomar medidas rápidas de contingencia que permitan garantizar el buen funcionamiento del ecosistema y una buena calidad de vida para las comunidades que habitan en la zona.

Incentivar a los entes encargados de cuidar el medio ambiente para que realicen talleres y capacitaciones en las instituciones educativas, sobre el manejo integral de los residuos sólidos y conservación de los recursos naturales que fortalezcan la temática del proyecto.

Comprometer a los estudiantes de los grados 10 y 11 del municipio en la recuperación de las fuentes de agua cercanas a sus viviendas para que sean parte activa en la búsqueda de una solución en los problemas de contaminación de las quebradas urbanas.

13. BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ ARANGO, Luisa Fernanda; Método para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Bogotá, D.C., 2005

ARIAS, Arnol H; Guía de microbiología del agua, programa de ingeniería ambiental y sanitaria, P5, 2011.

BARBA H, Luz Edith, Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición, Universidad del Valle, Facultad de ingenierías, 2002,

CAICEDO CAMILO, Karen Tatiana; Influencia del vertimiento de las aguas residuales generadas por la rallandería porvenir, sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada Matecaña al sur del municipio del Tambo – Cauca. Fundación universitaria de Popayán, Facultad de ciencias naturales, Programa de Ecología. 2015

CARDONA, C. la cuenca hidrográfica como unidad de planificación: (Guía cuencas hidrográficas Vol. 1 Nº 1) pdf. [En línea]. Disponible en: [www.Velbosque.Edu.co/files/archivos/la cuenca hidrográfica. Pdf](http://www.Velbosque.Edu.co/files/archivos/la%20cuenca%20hidrografica.Pdf)

CRUZ SALAZAR, Laura Victoria; caracterización fisicoquímica y de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada Minatapada, corregimiento de la Fonda, el Tambo – Cauca, utilizada en la minería artesanal de oro. Universidad del Cauca, facultad de ciencias naturales departamento de biología, 2012.

GÓMEZ DUQUE, Ana Sofía; evaluación de la calidad ecológica del agua usando macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media de la cuenca del río Felidia, Valle del Cauca-Colombia, universidad autónoma de occidente, facultad de ciencias básicas, departamento de ciencias ambientales, 2013

GUZMAN HOYOS, Miller. Determinación de la calidad biológica con base en los macroinvertebrados acuáticos y las características fisicoquímicas, hídricas de la quebrada la victoria y su principal afluente en el municipio de Totoró, Cauca. Universidad del Cauca, facultad de ciencias naturales, departamento de biología, 2013

LADERA, Rubén; RIERADEVALL, María y PRAT, Narcies; macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica, universidad de Barcelona, departamento de ecología, 2013. Disponible en: www.ehu.eus/ikastorratza/11_alea/macro.pdf

LEOPOLD, L. B; KLAEKE, F. E; HANSHAW, B. B and BALSLEY, J. R: A procedure for evaluating environmental impact. Geological survey circular. Washington D.C, 1971

MARCHAND P, ORLANDO E; Microorganismos indicadores de calidad de agua de consumo humano en Lima metropolitana. Universidad nacional Mayor de San Marcos. Departamento Académico de Microbiología y Parasitología, 2002.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá: MPS y MAVDT, 2007. (Resolución 2115 de 2007)

MONTILLA CARDONA, Jimena; Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de los órdenes Trichoptera y Odonata en cinco ríos de la región central del Cauca: Facultad de Educación, Universidad del Cauca, 2012

MORENO, Claudia. Métodos Para Medir la Biodiversidad. MsT manuales y Tesis SEA, vol. 1. CYTEC, Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA) UNESCO. Zaragoza, España. 2001 Disponible en: <http://www.florgarcia.com/wp-content/uploads/2013/09/m%C3%A9todos-de-evaluaci%C3%B3n-de-biodiversidad.pdf>

ORTIZ DIAGO, Luis Fernando; Diagnostico Ambiental de los Vertimientos de Aguas Residuales y Diseño de Alternativas de Solución Sobre la Quebrada Agua Clara en la Cabecera Municipal de Santander de Quilichao, 2012

RAMIREZ, A; RESTREPO, R Y VIÑA, G; Cuatro índices de contaminación para caracterización de agua continentales. Formulaciones y aplicaciones. Pdf, CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro - Vol. 1 Núm. 3 Dic. 1997

RORDAN, PEREZ, Gabriel; Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN-Colombia. Colciencias-Universidad de Antioquia, 1998

ROLDAN PEREZ, Gabriel; Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, 1992

ROLDAN PEREZ, Gabriel. La bioindicación de la calidad de aguas en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Medellín: Ed. Universidad de Antioquia, 2001

ROLDAN PEREZ, Gabriel Alfonso; Bioindicación de la calidad de agua en Colombia, uso del método BMW/Col: Editorial Universidad de Antioquia, 2003,

RUZA RODRIGUEZ, Javier; el concepto de estado ecológico: indicadores biológicos. Procesos de establecimiento de objetivo ambientales: las condiciones de referencia y el ejercicio de intercalibración europea, 2008. Disponible en: ocw.um.es/ciencias/avances-ecologicos-para-la...de.../ruza-rodriguez-j-2008.pdf

SANABRIA TOBAR, Christian. Composición de la comunidad de macroinvertebrado acuáticos y calidad biológica (BMWP) de la quebrada la chapa,

Loboguerrero, Valle del Cauca, Universidad del cauca, facultad de ciencias naturales, departamento de biología, 2010

SHEREE, Stewart, wáter quality drinking wáter protection, state of oregon departmental quality, 2017

TORRES, Patricia; CRUZ, Camilo Hernán y PATIÑO, Paola Janeth, Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica, 2009

ULCHUR OTERO, Andrés; Evaluación de la calidad de agua de la quebrada Guaicoche como fuente abastecedora de los acueducto veredales buena Vista, Santa Bárbara, Ventanas y Poblado Siberia del corregimiento de Siberia municipio de Caldono – Cauca. Fundación universitaria de Popayán, Facultad de ciencias naturales, Programa de Ecología. 2015

URREA LEDESMA, José Dulis; caracterización ambiental de la microcuenca del río Ejido, sector comprendido entre las comunas 7, 8 y 9 de la ciudad de Popayán y formulación de lineamientos para la planificación ambiental, Universidad del cauca, facultad de ciencias naturales, departamento de biología, 2012.

VALLADOLID María, ARAUZO Mercedes, MARTINEZ Juan José; Estado ecológico del río Oja (cuenca del Ebro, La Rioja, España), mediante indicadores de macroinvertebrados, departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), c/José Gutiérrez Abascal

VALLEJO ORTIZ, Miller Aly. Determinación de las características fisicoquímicas y la caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua de la quebrada la Hidráulica, municipio de Sibundoy, departamento del Putumayo, 2011

VARGAS FERNANDEZ, Jefferson; evaluación rápida de la calidad del agua, basado en análisis fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos en la quebrada San Nicolás y Singuya, municipio de Puerto Asís Putumayo, Fundación universitaria de Popayán, facultad de ciencias naturales, departamento de Ecología, 2011

VASQUEZ Z, León; Evaluacion de la calidad de aguas naturales, significado y alcances en la determinación físico-quimico y bilógicos fundamentales. Grupo de recursos hídricos continentales. Departamento de biología, facultad de ciencias naturales, exactas y de educación. Universidad del cauca, 2001.

VELASCO MOSQUERA, Obeimar; Indicadores biológicos y fisicoquímicos para la determinación de la calidad del agua del río San Pedro en el municipio de La Sierra – Cauca. Fundación universitaria de Popayán, Facultad de ciencias naturales, Programa de Ecología. 2017

WALTEROS RODRÍGUEZ, Yeymy Milena y PAIBA ALZATE, Jorge Eduardo; estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la reserva forestal Torre Cuatro, 2010.

ZAMORA GONZÁLES, Hilldier; el índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia, pdf. Universidad del Cauca, facultad de ciencias naturales, departamento de biología, 2007.

14. ANEXOS

Anexo 1. Factores ambientales relacionados con la contaminación de la quebrada Agua Clara.

ENCUESTA	SI	NO
1. Conoce el manejo integral de los residuos sólidos		
2. El sector cuenta con el servicio de recolección de basura		
3. Qué disposición se le da a la basura si el carro no pasa		
4. Tiene un lugar específico para el manejo de los residuos sólidos		
5. Cuenta con batería sanitaria		
6. Cuenta con el servicio de alcantarillado		
7. Desarrolla actividades pecuarias como la cría de pollo o cerdos		
8. Posee sembrados alrededor de la quebrada		
9. Utiliza fertilizante en los sembrados si los posee		
10. Conoce el riesgo para la salud y el medio ambiente causados por la contaminación de la quebrada		
11. Qué medida toma usted para prevenir la contaminación de la quebrada		
12. Participaría en programas orientados hacia la recuperación y protección de la quebrada		

Anexo 2. Valores promedios obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en cada una de las tres estaciones durante los 4 meses de muestreo.

Parámetros	E1	E2	E3	Promedio
Oxígeno Disuelto (mg/l)	6.02	4.9	6.65	5.8
Oxígeno Saturado (%)	67.5	55.5	77.5	66.8
DBO (mg/l O ₂)	1	2.25	2.25	1.8
Temperatura (°C)	20.5	20.9	21.7	21
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	66.5	95.1	123.7	95.1
Conductividad (µS/cm)	92.95	136.35	176.55	135.2
Alcalinidad Total (mg/l)	6.2	8.4	11.6	8.7
Dureza total (mg/l)	25	38.8	38.7	34.1
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	183.5	204.6	126.3	171.5
Turbiedad (NTU)	7.08	11.24	14.03	10.7
Nitrato (mg/l)	5	7.5	10	7.5
Nitrito (mg/l)	0	0.22	0.5	0.2
Amonio (mg/l)	0	1.1	2.2	1.1
Fosfato (mg/l)	0.006	0.025	0.05	0.027
Potencial de Hidrogeniones (pH)	7.05	6.8	6.6	6.8

Fuente: Autor

Anexo 3. Valores promedios obtenidos para los parámetros fisicoquímicos durante los cuatro meses de muestreo M1, M2, M3 y M4 de la quebrada clara.

Parámetros	M1	M2	M3	M4	promedio
Oxígeno Disuelto (mg/l)	9.8	3.6	5.2	4.6	5.8
Oxígeno Saturado (%)	115	43	54	55	66.7
DBO (mg/l O ₂)	0.33	2	3	2	1.8
Temperatura (°C)	23	22.1	15.9	23.1	21
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	90.56	84.5	99.43	105.9	95
Conductividad (µS/cm)	134.6	122.4	125.6	158.5	135.2
Alcalinidad Total (mg/l)	0.6	0.9	0.6	0.8	0.7
Dureza total (mg/l)	33.3	28.3	33.3	40	33.7
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	242.5	248.85	100.6	90.05	170.4
Turbiedad (NTU)	14.9	11.3	6.2	10.6	10.7
Nitrato (mg/l)	10	6.6	3.3	10	7.4
Nitrito (mg/l)	0.3	0.18	0.26	0.19	0.2
Amonio (mg/l)	1.73	1.73	1.66	0.33	1.3
Fosfato (mg/l)	0.41	0.25	0.08	0.33	0.2
Potencial de Hidrogeniones (pH)	6.8	7	6.8	6.9	6.8

Fuente: Autor

Anexo 4. Valores obtenidos en cada estación durante los 4 meses de muestreo.

Estación # 1					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	promedio
Oxígeno Disuelto (mg/l)	10.9	3.3	3.8	6.1	6.02
Oxígeno Saturado (%)	125	38	38	69	67.5
DBO (mg/l O ₂)	0	2	1	1	1
Temperatura (°C)	22	22.9	16	21.2	20.5
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	60.45	65.65	66.95	72.80	66.5
Conductividad (µS/cm)	88	95.3	85.6	102.9	92.95
Alcalinidad Total (mg/l)	0.4	0.8	0.4	0.5	0.52
Dureza total (mg/l)	20	20	30	30	25
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	339.55	134.35	133.05	127.2	183.5
Turbiedad (NTU)	17	3	4.57	3.75	7.08
Nitrato (mg/l)	10	0	0	10	5
Nitrito (mg/l)	0	0	0	0	0
Amonio (mg/l)	0	0	0	0	0
Fosfato (mg/l)	0	0.025	0	0	0.006
Potencial de Hidrogeniones (pH)	7.2	7	7	7	7.05

Fuente: Autor

Estación # 2					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	promedio
Oxígeno Disuelto (mg/l)	7.7	3	4.6	4.3	4.9
Oxígeno Saturado (%)	91	35	46	50	55.5
DBO (mg/l O ₂)	0	2	4	3	2.25
Temperatura (°C)	23.3	21.5	15.5	23.6	20.9
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	134.55	75.40	80.86	89.70	95.1
Conductividad (µS/cm)	200.5	108.4	101.8	134.7	136.35
Alcalinidad Total (mg/l)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Dureza total (mg/l)	60	25	30	40	38.8
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	64.45	524.6	119.4	110.3	204.6
Turbiedad (NTU)	12.7	9	9.06	14.2	11.24
Nitrato (mg/l)	10	10	0	10	7.5
Nitrito (mg/l)	0.5	0.015	0.3	0.075	0.22
Amonio (mg/l)	3.9	0.2	0.2	0	1.1
Fosfato (mg/l)	0.075	0	0	0.025	0.025
Potencial de Hidrogeniones (pH)	6.75	7	7	6.8	6.8

Fuente: Autor

Estación # 3					
Parámetros	M1	M2	M3	M4	promedio
Oxígeno Disuelto (mg/l)	10.8	4.6	7.6	3.6	6.65
Oxígeno Saturado (%)	129	57	78	46	77.5
DBO (mg/l O ₂)	1	2	4	2	2.25
Temperatura (°C)	23.9	22.1	16.3	24.6	21.7
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	76.70	112.45	150.5	155.35	123.7
Conductividad (µS/cm)	115.4	163.5	189.4	237.9	176.55
Alcalinidad Total (mg/l)	0.7	1.2	0.7	1.3	0.98
Dureza total (mg/l)	20	40	40	50	37.5
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	323.3	87.55	49.5	44.65	126.3
Turbiedad (NTU)	15.2	22	4.82	14.1	14.03
Nitrato (mg/l)	10	10	10	10	10
Nitrito (mg/l)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Amonio (mg/l)	0.16	3.9	3.9	1	2.2
Fosfato (mg/l)	0.025	0.075	0.025	0.075	0.05
Potencial de Hidrogeniones (pH)	6.37	7	6.5	6.8	6.6

Anexo 5. Requisitos para la preservación de muestras de agua según los parámetros correspondientes.

Parámetro	Volumen de Muestra	Preservación	Tiempo de Almacenamiento
Color	500 ml	Refrigerar a 4°C	48 horas
Conductividad	500 ml	Refrigerar a 4°C	28 días
Turbiedad	100 ml	Refrigerar a 4°C	48 horas
Alcalinidad	50 ml	Refrigerar a 4°C	48 horas
Dureza	100 ml	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses
Sólidos	1 L	Refrigerar a 4°C	2 - 7 días
Cloro Residual	500 ml	Analizar inmediatamente	
Cloruros	100 ml	Refrigerar a 4°C	7 días
Fluoruros	10 ml	Refrigerar a 4°C	7 días
Sulfatos	100 ml	Refrigerar a 4°C	25 días
Cianuros	500 ml	Refrigerar, agregar NaOH hasta pH = 12	14 días
Oxígeno Disuelto	300 ml	Analizar inmediatamente	30 minutos
DBO	1 L	Refrigerar a 4°C	24 horas
DQO	10 ml	Refrigerar, agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	28 días
Aceites y Grasa	1 L	Refrigerar, agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	24 horas
Hidrocarburos	1 L	Refrigerar, agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	7 días
Nitrógeno	250 ml	Refrigerar, agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	23 días
Nitrógeno Amoniacal	50 ml		24 horas
Nitrógeno Orgánico	250 ml		28 días
Nitratos	100 ml	Refrigerar a 4°C	28 días
Nitritos	100 ml	Refrigerar a 4°C	48 horas
Fosforo Total	100 ml	Refrigerar a 4°C	24 horas
Fosforo Soluble	100 ml		
Fosforo Hidrolizable	10 ml		
Metales			
Cd, Cu, CR, Mn Pb, Zn, Fe	500 ml	Refrigerar, agregar HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses
Arsénico	100 ml		6 meses
Mercurio	100 ml	Refrigerar, agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	28 días
Bacterias Heterotróficas	200 ml	Refrigerar a 4°C	24 horas
Coliformes Total y Fecal	200 ml	Refrigerar a 4°C	24 horas
Salmonella (A/P)			
Agua Superficiales	1 L	Refrigerar a 4°C	24 horas
Agua Potable	4 L		
Salmonella (NMP)	200 ml		
Clostridios Sulfato reductores	200 ml		
Vibrio Cholerae (A/P)			
Agua Superficiales	1 L	Refrigerar a 4°C	24 horas
Agua Potable	4 L		
Vibrio Cholerae (NMP)	200 ml		

Parámetro	Tipo de Frasco	Volumen de Muestra	Preservación	Tiempo de Almacenamiento
Enteroparásitos				
Agua Residual Cruda	P	1 L	Refrigerar a 4°C	24 horas
Agua Residual Tratada	P	5 L		
Agua Superficial	P	5 L		
Agua Potable	P	10 L		
Lodos	B	200 g		3 días
Fitoplancton**				
Aguas Eutróficas	P	1 L	Temperatura Ambiente	24 horas
Aguas Oligotróficas	P	6 L		
Zooplancton				
Aguas Eutróficas	P	1 L	Temperatura Ambiente	24 horas
Aguas Oligotróficas	P	6 L		

P: Plásticos

V: Vidrio

B: Bolsa de plástico sellado

NMP: Numero más Probable

A/P: Ausencia / Presencia

Anexo 6. Cadena de Custodia.



UNIVERSIDAD NACIONAL
 "Santiago Antúnez de Mayolo"
 LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 Av. Centenario N° 200 - Huaraz - Ancash
 Telefax: (043) 721431 - Apartado 70
 e-mail: labfcam@hotmail.com



CADENA DE CUSTODIA CC10

CLIENTE		Razón Social : _____		Atención : _____	
		Dirección : _____		Referencia : _____	
				Telf. / E-mail : _____	

Muestra	Muestreo		Frasco		Requerimiento de Análisis											Observación sobre Muestra		
	Identif.	Fecha	Tipo	Cant.	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (uS/cm)	pH (Unid.)	Temp. (°C)	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Preserv.	Procedencia y/o Descripción

Fuente: Manantial M Río R Riachuelo I Canal de Riego C Laguna L Efuyente Minero Metalurgico E Agua Residual AR Otro O
 Especificar: _____

1. Generales _____
 2. Met. Totales _____
 3. Met. Disueltos _____
 7. Otros _____
 4. Cianuros _____
 5. Nutrientes _____
 6. Microbiológico _____

Comentario: _____

Embalaje: Recipiente: _____ Refrigerado a ≤ 4 °C: Si No

 DNI _____
MUESTREO

 DNI _____
CLIENTE

LABORATORIO: Entrega	Firma
Recibe	Firma
	Dia/Mes/Año - Horas

REPORTE: Los resultados de Análisis se emitirá el _____
 Dia/Mes/Año - Horas

Anexo 1. Tensores antrópicos.

