

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PARTE ALTA DE LA
QUEBRADA LA PALESTINA COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA
VEREDA GUAYABO NEGRO, CORREGIMIENTO DE SAN MIGUEL MUNICIPIO DE
LA VEGA CAUCA

JHON EDUAR GÓMEZ

Trabajo como requisito parcial para optar el título de Ecólogo



FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

PROGRAMA DE ECOLOGÍA

POPAYÁN CAUCA

2019

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PARTE ALTA DE LA
QUEBRADA LA PALESTINA COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA
VEREDA GUAYABO NEGRO, CORREGIMIENTO DE SAN MIGUEL MUNICIPIO DE
LA VEGA CAUCA

JHON EDUAR GÓMEZ

DIRECTOR

DANIEL FERIZ GARCÍA

Biólogo

M.S.c en Recursos Hidrobiológicos Continentales



FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

PROGRAMA DE ECOLOGÍA

POPAYÁN CAUCA

2019



FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN
35 ANIVERSARIO

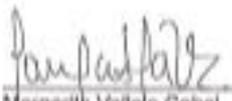
FUNDACION UNIVERSITARIA DE POPAYAN
PROGRAMA DE ECOLOGÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN PRIVADA

Siendo las 9:00 am, del día 16 de mayo del 2019, fueron convocados en el auditorio en la sede Los Robles, los jurados: Margarita Valejo Cabal y Luisa Fernanda García, en calidad de pares evaluadores del proyecto de grado denominado: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA LA PALESTINA COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA VEREDA GUAYABO NEGRO, CORREGIMIENTO DE SAN MIGUEL MUNICIPIO DE LA VEGA CAUCA", presentado por el estudiante Jhon Eduar Gómez, asesorado por el biólogo Daniel Fertz García.

El trabajo se considera: Aprobado

Para constancia se firma a los 16 días del mes mayo del 2019.


Margarita Valejo Cabal


Luisa Fernanda García



Sede administrativa: Ciudad San José, Calle 5 No. 8-58 - Los Robles, Popayán - Cauca
Sede Facultad de Ciencias: Calle 4 No. 10-50, San Andrés de Quilichao

Popayán, Cauca, Colombia

TEL: (312) 210.2025 | www.fup.edu.co | Fundación Universitaria de Popayán



FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN
15 ANIVERSARIO

ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA TRABAJO DE GRADO

FECHA: 27 de mayo del 2019

HORA: 11:00 am.

LUGAR: Fundación Universitaria de Popayán sede Los Robles.

Se realizó la Sustentación Pública del Trabajo de Grado denominado: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA LA PALESTINA COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA VEREDA GUAYABO NEGRO, CORREGIMIENTO DE SAN MIGUEL MUNICIPIO DE LA VEGA CAUCA", presentado por el estudiante Jhon Eduar Gómez, asesorado por el biólogo Daniel Feriz García.

El trabajo se considera:

APROBADO:

Luisa Fernanda García V
Luisa Fernanda García Varela
Directora del programa de Ecología

Se adjunta acta de asistencia.



Sede administrativa: Ciudad San José Calle 5 No. 258 - San Andrés Bello (Caracas)
Sede Base del Cauca: Calle 4 No. 50-50 San Andrés de Quilichao

Popayán, Cauca, Colombia

PH: 257-2652625 | www.fupopayán.edu.co | Fundación Universitaria de Popayán



Dedicatoria

A Dios, por permitirme cumplir este propósito.

A mi padre Edil Alfredo Gómez por todo el apoyo y confianza brindada durante este tiempo de formación.

A mi madre Rosa Nory Bahos por su amor incondicional, paciencia y apoyo en cada momento de mi vida.

A mis hermanos Freddy, Sebastián y Diego por ser parte fundamental en este proceso, por su apoyo y comprensión durante la carrera.

Agradecimientos

A Dios por ser el dueño de la vida.

A mi familia, padres y hermanos, por estar siempre en cada momento de mi vida

A la FUP por la oportunidad de formarme como profesional en el área de las Ciencias Naturales.

A mi director de tesis Daniel Feriz García por su dedicación, paciencia y su conocimiento brindado para el desarrollo de este trabajo.

Al profesor Arnol Arias y al equipo de laboratorio por la colaboración con el préstamo de equipos y la información brindada como base para el desarrollo de este proyecto.

A Luisa Fernanda García y Margarita Vallejo por su colaboración como jurados.

Al programa de Ecología y su planta de docentes por las asesorías y conocimientos impartidos en diferentes actividades como base de aprendizaje y formación en el transcurso de la carrera.

A mis compañeros del programa por su apoyo y paciencia, y a quienes fueron más que una amistad y que forjaron momentos gratos y únicos en esta experiencia profesional.

Y en fin a cada una de las personas que de una u otra forma hicieron parte de este proceso y brindaron su apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	15
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo general.....	18
3.2 Objetivos específicos.....	18
4. MARCO REFERENCIAL.....	19
4.1 Localización general:	19
4.2 Área de estudio.....	20
5. MARCO TEORICO	23
5.1 Calidad del agua.....	23
5.2 Usos del agua.....	23
5.2.1 Uso para consumo humano y doméstico	23
5.3 Contaminación del agua	23
5.4 Efectos de la contaminación acuática.....	24
5.5 Parámetros Físico-químicos del agua	24
5.6 Microbiología del agua.....	26
5.6.1 Microorganismos presentes en el agua	26
5.6.2 Bacterias coliformes.....	26
5.7 Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA)	26
5.7.1 Calificación del IRCA	26
5.7.2Calculo del IRCA.....	27
5.8 Índices de Contaminación ICOs	28
5.8.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).....	28
5.8.2 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	29
5.8.3 Índice de contaminación sólidos suspendidos (ICOSUS)	29
5.8.4 Índice de contaminación trófico (ICOTRO).....	29
5.9 Componente biológico	30
5.9.1 Macroinvertebrados acuáticos MAE.....	30
5.9.2 Método BMWP/Col.....	30
5.9.3 Valores índice BMWP adaptado para Colombia	31
5.10 Índices de diversidad	32

5.10.1 Índice de Shannon-Weaner.....	32
5.10.2 Índice de Simpson.....	33
5.10.3 Índice de Margalef.....	33
6. MARCO LEGAL.....	34
7. ANTECEDENTES	36
8. MARCO METODOLOGICO.....	38
8.1 Tipo de estudio:	38
8.2 Reconocimiento previo del área de estudio y selección de las estaciones de muestreo.....	38
8.3 Búsqueda de información y elaboración de propuesta	38
8.4 Fase de campo	38
8.4.1 Muestras físico-químicos.....	38
8.4.2 Muestreo bacteriológico	39
8.4.3 Colecta y clasificación de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE).....	40
8.5 Análisis de resultados	40
8.5.1 Análisis físico-químicos y bacteriológicos	40
8.5.2 Análisis biológicos (MAE).....	41
9. RESULTADOS.....	42
9.1 Tensores ambientales que afectan el área de influencia.....	42
9.2 Resultados Físico-Químicos	43
9.3 Resultados bacteriológicos	45
9.4 Resultados Biológicos	45
9.4.1 Composición y Estructura de MAE.....	45
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
10.1 Parámetros físico-químicos.....	48
10.1.1 Temperatura ambiental e hídrica.	48
10.1.2 Oxígeno disuelto	49
10.1.3 Saturación de oxígeno	50
10.1.4 Demanda Biológica de oxígeno (DBO).	51
10.1.5 Turbidez.	52
10.1.6 Sólidos suspendidos.	53
10.1.7 Sólidos sedimentables.	54
10.1.8 Conductividad.	54
10.1.9 Sólidos disueltos totales (STD).	55

10.1.10 Alcalinidad.....	56
10.1.11 pH.	57
10.1.12 Dureza.....	58
10.1.13 Amonio, Nitritos y Nitratos.....	59
10.1.14 Fosfatos.	60
10.2 Análisis bacteriológico	61
10.3 Análisis biológico	63
10.3.1 Clasificación taxonómica en la estación 1 (parte alta)	63
10.3.2 Clasificación taxonómica en la estación 2 (bocatoma).....	63
10.4 Índice de Riesgo de la Calidad del Agua	64
10.4.1 IRCA por muestra	64
10.4.2 IRCA Mensual	65
10.5 Índices de Contaminación	66
10.5.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).....	67
10.5.2 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	67
10.5.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	68
10.5.4 Índice de contaminación trófico (ICOTRO).....	68
10.5.5 Índice de Contaminación ICOs.....	68
10.6 Índice BMWP	68
10.7 Índices de diversidad	69
10.7.1 Índice de Shannon – Wiener.....	70
10.7.2 Índice de Simpson.....	70
10.7.3 Índice de Margalef.....	70
11. CONCLUSIONES	71
12. RECOMENDACIONES.....	73
13. BIBLIOGRAFIA	75

Lista de Graficas

Grafica 1. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de temperatura ambiental. Fuente: elaboración propia.....	48
Grafica 2. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de temperatura del agua. Fuente: elaboración propia.....	48
Grafica 3. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de turbidez. Fuente: elaboración propia.....	52
Grafica 4. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de conductividad. Fuente: elaboración propia.....	55
Grafica 5. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de alcalinidad. Fuente: elaboración propia.....	56
Grafica 6. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de pH. Fuente: elaboración propia.....	57
Grafica 7. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de Dureza. Fuente: elaboración propia.....	58
Grafica 8. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de Amonio, Nitritos y Nitratos. Fuente: elaboración propia.....	59
Grafica 9. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de fosfatos. Fuente:	60
Grafica 10. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de oxígeno disuelto. Fuente: elaboración propia.....	49
Grafica 11. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de % saturación Oxígeno. Fuente: elaboración propia.....	50
Grafica 12. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de DBO. Fuente: elaboración propia.....	51
Grafica 13. Valores por cada estación y los promedios mensuales de sólidos disueltos totales. Fuente: elaboración propia.....	55
Grafica 14. Valores por cada estación y los promedios mensuales de sólidos suspendidos. Fuente: elaboración propia.....	53
Grafica 15. Valores por cada estación y los promedios mensuales de sólidos sedimentables Fuente: elaboración propia.....	54

Grafica 16. Resultados microbiológicos del laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán. Fuente: Elaboración propia.....	63
Grafica 17. Índice de Simpson (λ), Shannon - Wiener (H') y Margalef para las estaciones 1 y 2.	70

Lista de Tablas

Tabla 1. Puntaje de Riesgo a características físico-químicas y microbiológicas. Fuente Resolución 2115 de 2007.	27
Tabla 2 Calificación IRCA y nivel de riesgo. Fuente Resolución 2115 2007.	28
Tabla 3. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (Roldán, 2003).	31
Tabla 4. Clases, valores y características de las aguas mediante el índice BMWP adaptado para Colombia.	32
Tabla 5. Parámetros físico-químicos analizados. Fuente: elaboración propia.	39
Tabla 6. Resultados físico – químicos obtenidos en cada estación durante los tres meses muestreados. Fuente: elaboración propia	44
Tabla 7. Resultados microbiológicos obtenidos en el Laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán.	45
Tabla 8. Resultados microbiológicos obtenidos en el Laboratorio del Acueducto de Popayán.	45
Tabla 9. Resultados de macroinvertebrados presentes en las dos estaciones muestreadas. Fuente: elaboración propia.	46
Tabla 10. Índices de contaminación ICO para los tres meses de muestreo. Fuente: elaboración propia.....	66
Tabla 11. Índices de contaminación ICO para las estaciones muestreadas. Fuente: elaboración propia.....	66
Tabla 12. Significado de los índices de contaminación (ICO). Fuente: Ramírez, Restrepo y Cardeñosa, 1999).	67
Tabla 13. Puntajes BMWP/Col para las familias encontradas en las estaciones: Parte alta y Bocatoma.	68
Tabla 14. Índices de diversidad, para las estaciones: Parte alta y Bocatoma	69

RESUMEN

Se realizó la evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Palestina como fuente de abastecimiento para la población de la vereda de Guayabo Negro, mediante parámetros físico-químicos, microbiológicos (coliformes totales y *E. coli*) y biológicos (macroinvertebrados acuáticos). La falta de información físico-químico, microbiológica y biológica de la fuente de abastecimiento permito resolver la pregunta ¿Cuál es la calidad físico-química, microbiológica y biológica de la parte alta de la quebrada Palestina, como fuente de abastecimiento de la vereda Guayabo Negro, corregimiento de San Miguel, municipio de La Vega, Cauca, con la finalidad de poder establecer medidas de manejo de la fuente hídrica?

La toma de datos se realizó en los meses de febrero, abril y junio de 2017 en 4 estaciones de muestreo: parte alta, bocatoma, tanque de almacenamiento y una vivienda. Se tomaron datos fisicoquímicos de pH, dureza, alcalinidad, y nutrientes utilizando un laboratorio portátil aquamerck; los sólidos disueltos, saturación de oxígeno y oxígeno disuelto se determinó mediante una sonda multiparametrica YSI; los coliformes totales y fecales fueron calculados en el laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán, y el mes restante se mandó a analizar al laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán. Los macroinvertebrados se colectaron mediante una red surber en las estaciones parte alta y bocatoma, clasificándolos hasta nivel de familia y calculando: la riqueza, abundancia, diversidad de Shannon, dominancia de Simpson; adicionalmente la calidad del agua se determinó mediante el índice de calidad biológica BMWP y Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) y los índices de contaminación ICO.

Se obtuvieron un total de 274 individuos distribuidos en 9 órdenes, 18 familias y 22 géneros los más representativos, NN, tanypodinae, chironominae, rhagovelia, eurygerris. De acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, los resultados físico-químicos se ajustan dentro de los valores máximos aceptables, mientras que los resultados para coliformes totales y fecales sobrepasan los valores deseados haciendo que el valor del IRCA clasifique como aguas no aptas para el consumo humano. En cuanto al índice BMWP/Col las clasifica como aguas ligeramente contaminadas en la estación 1 (parte alta) y aguas muy limpias a limpias para la estación 2 (bocatoma). Con respecto a los ICOs, se presentan valores bajos de contaminación para cada

uno de los índices, pues los resultados son cercanos a cero. Sin embargo, los valores el ICOMO hacen que el recurso sea inviable para su consumo.

Palabras clave: calidad del agua, coliformes totales y E. coli, Índice de Riego de la Calidad del Agua (IRCA), macroinvertebrados acuáticos, BMWP/Col.

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico constituye la esencia de la vida en el planeta, pues la composición química de todos los organismos está dominada por este compuesto, y al estar presente en gran parte en los seres vivos se convierte en la base para el metabolismo bioquímico (Wetzel, 1981). El ecosistema acuático está en continua relación con factores bióticos y abióticos, y por tanto posee unas características físicas y químicas fundamentales que permiten el desarrollo y relación con organismos como los macroinvertebrados acuáticos que son indicadores de la calidad del agua ya que reflejan condiciones específicas en cuanto a los niveles de tolerancia a los hábitats que se adaptan. (Roldan, 1992)

Conocer la calidad del agua para consumo humano, permite saber sobre el estado en que se encuentra cada una de las propiedades: físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de aguas naturales, buscando determinar su estado trófico y sanitario (Vásquez, 2001).

La disponibilidad y calidad del agua se ha visto afectada a causa de factores como la deforestación, la contaminación, el cambio climático y el mayor consumo lo ejerce una población y una industria que no da pausa y que su demanda es continua y significativa, convirtiéndose en una problemática que afecta la calidad del recurso y una amenaza para la salud humana (ONU, 2015).

Las fuentes de agua superficial son importantes para el desarrollo de las poblaciones en primera instancia para su consumo y así mismo para el abastecimiento en las diferentes actividades socioeconómicas que se presentan en las comunidades, sin embargo estos ecosistemas pueden presentar contaminación ya sea por actividades humanas o de manera natural (Roldan, 1992). El caso de la quebrada Palestina tiene que la ganadería y la tala del bosque que la protege, son los principales factores ambientales que afectan la dinámica de la quebrada.

El objeto de este estudio fue evaluar la calidad del agua de la parte alta de la quebrada Palestina como fuente de abastecimiento de la Vereda Guayabo Negro, Municipio de la Vega Cauca, debido que la población no cuenta con un sistema de tratamiento que garantice condiciones óptimas para su aprovechamiento. Los valores obtenidos fueron comparados con la Resolución 2115 de 2007, decreto 1594 de 1984 y guías taxonómicas de clasificación y mediante el uso de índices físico-químicos e indicadores biológicos

1. FORMULACION DEL PROBLEMA

Las continuas acciones del hombre como actividades normales de su desarrollo económico y social, han ocasionado graves problemas de contaminación de las aguas, tales como: el uso inadecuado, la deforestación, las actividades agropecuarias, etc., han ocasionado la limitación del recurso no solo en su disponibilidad, sino también en cuanto a su calidad, teniendo efectos negativos en la salud humana, la vida acuática y el bienestar en general (Salazar, 1978).

En Colombia la falta de gestión de acueductos con un diseño e infraestructuras adecuados por parte de las poblaciones y los entes encargados contribuye a una problemática sanitaria especialmente en las zonas rurales, pues se presenta ausencias de sistemas de saneamiento del recurso, donde por lo menos el 28 % de la población rural equivalente a unos 3.1 millones de Colombianos enfrenta una situación crítica por la falta de saneamiento y tratamiento del agua (EL TIEMPO, 2015). Pues bien el recurso hídrico se ha convertido en el aliado más importante para el hombre a la hora de suplir sus necesidades en diferentes actividades, pero no cabe duda que el uso más relevante se convierte en el de consumo, sin embargo sin un debido tratamiento puede comprometer la salud de las personas, pues se calcula que en el mundo unas 842.000 personas mueren cada año a causa de la insalubridad del agua, debido a la ausencia en los sistemas de saneamiento y potabilización (OMS, 2018).

Para el caso del Corregimiento de San Miguel se tiene como referente la pérdida de recurso pues se presenta que se han secado los nacimientos de agua: la Cancha y Madroño ubicados en la Vereda de Garay, lo que ocasiona la falta del recurso para su aprovechamiento en el consumo y la búsqueda de un nuevo sistema de abastecimiento para la población (EOT, 2002).

Actualmente la vereda cuenta con un sistema de infraestructura conformado por una bocatoma, un tanque desarenador y un tanque de almacenamiento, sin embargo este sistema no es completo, puesto que debería contar con un tratamiento de agua de los sistemas convencionales en las zonas rurales como: filtro lento de arena, filtro rápido, tratamiento químico y desinfección (OPS, 2008) con el fin de garantizar una mejor calidad del agua a la hora de su consumo, dado que se emplearía técnicas y tratamientos apropiados para ofertar dicha calidad.

Por otra parte la quebrada Palestina se encuentra limitada por dos áreas de uso ganadero, sumado a esto se presentan árboles cortados en algunas partes del bosque que protege la quebrada, esto permite el ingreso del ganado con mayor facilidad para aprovechar el agua, y se convierte en una problemática sanitaria puesto que al estar el ganado dentro del área de bosque y que por procesos de escorrentía llega materia fecal al cuerpo de agua, ocasionando un problema sanitario puesto que el consumo de aguas contaminadas por heces, arrastra una serie de enfermedades: diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea, poliomielitis (OMS, 2018).

La quebrada Palestina representa la fuente de abastecimiento para unas **45** personas aproximadamente de la vereda de Guayabo Negro, por lo cual se da una importancia en la búsqueda de información que permita conocer la calidad del agua para el consumo, debido a que la población se encuentra en riesgo si continua consumiendo el agua sin un debido tratamiento.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la calidad físico-química, microbiológica y biológica de la parte alta de la quebrada Palestina, como fuente de abastecimiento de la vereda Guayabo Negro, corregimiento de San Miguel, municipio de La Vega, Cauca?

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua para consumo humano de la quebrada Palestina, Vereda de Guayabo Negro, Corregimiento de San Miguel, Municipio de La Vega, Cauca mediante el uso de parámetros físicos, químicos y biológicos.

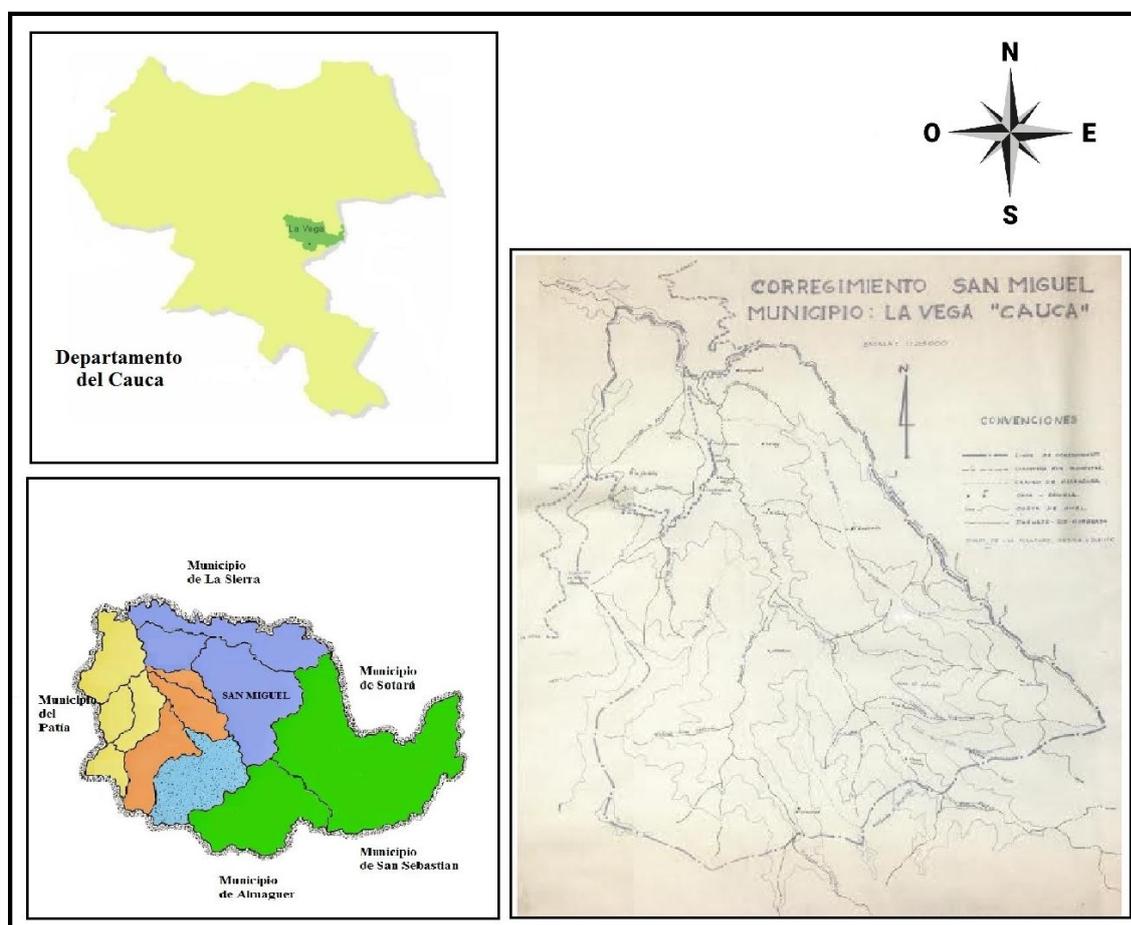
3.2 Objetivos específicos

- Establecer los valores de los parámetros físico-químicos mediante pruebas colorimétricas y potenciométricas.
- Definir el número de coliformes totales y fecales (NMP) de las diferentes estaciones de muestreo.
- Categorizar la composición y estructura de macro invertebrados acuáticos mediante la riqueza, abundancia y diversidad.
- Evaluar la calidad físico-química mediante la comparación con la Resolución 2115 de 2007 y los índices de contaminación ICO (Ramírez y Viña, 1997). Y la calidad biológica del agua mediante el índice BMWP/Col

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Localización general:

El corregimiento de San Miguel, se encuentra ubicado al norte del municipio de La Vega, localizado en las estribaciones del Macizo Colombiano (Mapa 1), con una altura de 1580 msnm y una temperatura promedio de 23 ° C. El corregimiento tiene una extensión total de 6348.67 ha., y un total de 17 veredas de la cual hace parte la vereda de Guayabo Negro. (EOT, 2002).



Mapa 1. Corregimiento de San Miguel, en el Municipio de la Vega, en el Departamento del Cauca. Fuente: lavega-cauca.gov.co/ y Esquema de Ordenamiento Territorial, EOT Municipio de La Vega, Cauca (2002).

4.2 Área de estudio

La vereda de Guayabo Negro está ubicada en el corregimiento de San Miguel, dentro de la jurisdicción del municipio de La Vega en el Departamento del Cauca. Cuenta con una extensión de 70.86 ha. (EOT, 2002), y una población de 18 familias las cuales se dedican a la agricultura especialmente a la producción de café, plátano, yuca, entre otros cultivos como eje central en sus actividades económicas.

El presente estudio se realizó en la parte alta de la quebrada Palestina, la cual nace en la parte alta de la vereda de Guayabo Negro. Esta quebrada presenta un caudal bajo y un cauce que es notorio en la parte de la bocatoma donde llega a los 1.80 metros, mientras que en otras no sobrepasa los 50cm. A través del trayecto de la quebrada se logran presenciar tipos de sustratos arenosos, fangosos, pero especialmente gran parte se caracteriza por ser sustratos rocosos (figura 1).

Imagen 1. Tipos de sustrato a través del trayecto: arenoso; fangoso; rocoso. Elaboración propia.



Alrededor de la quebrada se encuentra vegetación asociada por árboles y arbustos, compuesta por especies conocidas comúnmente en la zona como jigua; *Nectandra acutifolia*, yarumo; *Cecropia peltata*, caspi o manzanillo; *Toxicodendron striatum*, guacamayo; *Triplaris americana* L., cedrillo; *Phyllanthus salviifolius*, quina; *Cinchona pubescens*, etc., que han permitido mantener la dinámica como bosque protector de la quebrada, pues estos cumplen una función importante en la regulación de caudales, gracias a que sirven como amortiguación en la caída de lluvia (Chara, 2003), además de que absorben parte de la precipitación en las hojas y tallos para ser liberada nuevamente.

La quebrada Palestina fue tomada como fuente de abastecimiento de la población de la vereda Guayabo Negro, con el fin de suplir las necesidades básicas de uso y aprovechamiento. En búsqueda de un sistema de prestación del servicio de manera organizada del agua proveniente de la quebrada, para el año de 1986 se realizaron obras de infraestructura con la construcción de una bocatoma, un tanque desarenador y el tanque de almacenamiento con una capacidad de 50.000 lts, que permitiera abastecer la población.

Imagen 2. Sistema de infraestructura de la quebrada Palestina; Bocatoma, tanque desarenador, tanque de almacenamiento. Elaboración propia.



Sin embargo este sistema no es completo, puesto que debería contar con un tratamiento de agua de los sistemas convencionales en las zonas rurales como: filtro lento de arena, filtro rápido, tratamiento químico y desinfección (OPS, 2008), a modo de que se ofrezcan mejores condiciones para su uso, especialmente para el consumo.



Mapa 2. Ubicación de las estaciones de muestreo.

5. MARCO TEORICO

Este trabajo se realizó en base a estudios de autores que a través del tiempo y las investigaciones fueron resolviendo dudas e interrogantes acerca del agua y los ecosistemas acuáticos, teniendo soporte a través de las experiencias y resultados para nuevos estudios de este tipo, a continuación se presentan definiciones, conceptos, pensamientos y criterios de algunos los autores han aportado a la investigación limnológica y que sirvieron como referencia para el desarrollo de este trabajo.

5.1 Calidad del agua

Vásquez (2001) define como las características físicas, químicas y biológicas que pueden presentar un ecosistema acuático natural, de manera que se permita conocer el estado trófico y sanitario mediante la relación con las características del hábitat, grado de potabilidad (abastecimiento y consumo), estudios de efecto ambiental, actividades agrícolas y pecuarias, etc.

Una de las formas de garantizar la seguridad y calidad del agua, es la gestión preventiva en la que se busque adoptar un sistema de cooperación entre las partes interesadas y los organismos responsables, para garantizar la participación en la gestión de la calidad del agua.

5.2 Usos del agua

El agua como recurso natural ofrece múltiples usos como: consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, usos en actividades industriales, agrícolas y pecuarias, pesca, acuicultura etc., (Decreto 3930 de 2010). En el caso de la población de la vereda Guayabo Negro tienen como principal uso el de consumo humano y doméstico, y en cierta medida como aprovechamiento en la agricultura y la parte pecuaria.

5.2.1 Uso para consumo humano y doméstico

De acuerdo al Decreto 3930 de 2010 se considera uso para consumo humano cuando el agua es empleada en actividad de bebida directa, preparación de alimentos para consumo inmediato, necesidades individuales como higiene personal y limpieza de elementos domésticos etc.

5.3 Contaminación del agua

La contaminación de un cuerpo de agua, se puede definir de manera simple como la adición de sustancias extrañas las cuales ocasionan el deterioro de su calidad. Las principales fuentes de

contaminación para los ecosistemas acuáticos son los provenientes de las industrias, la agricultura y desechos domésticos (Roldan, 1992). Haciendo un enfoque en este estudio la contaminación que se presenta cerca de la quebrada se genera a partir de actividades como la ganadería, la cual se desarrolla a cada lado del bosque que protege el cuerpo de agua.

5.4 Efectos de la contaminación acuática

Sin importar el tipo de contaminante, ya sean orgánicos e inorgánicos, ocasiona una serie de modificaciones físicas y químicas en el cuerpo de agua, y este a su vez repercute en la composición y distribución de comunidades acuáticas (Roldan, 1992). Algunas de las repercusiones que se pueden presentar son: el los peligros a la salud humana, debido a que el recurso se ve afectado en cuanto a su calidad y disponibilidad ante las actividades antrópicas que se desarrollan cerca de las fuentes de agua, además a nivel biológico terminan afectados los organismos vivos, debido a que al modificarse las condiciones físicas, químicas o microbiológicas altera la dinámica y función del ecosistema acuático.

5.5 Parámetros Físico-químicos del agua

Una de las variables que se midieron fue el valor de la temperatura, este parámetro deriva de la penetración lumínica, y se mide de acuerdo a la cantidad de energía calórica que es absorbida por el cuerpo de agua, es importante este parámetro dentro de un ecosistema acuático, puesto que incide en la densidad, solubilidad de gases, reacciones y procesos químicos (Vásquez, 2001), este aspecto térmico esta a su vez relacionado con el oxígeno, el cual es un elemento de gran importancia en los ecosistemas acuáticos, puesto que la presencia y cantidad definen el tipo de especies que se desarrollan en función de la tolerancia y los rangos de adaptación, en el funcionamiento biótico de los ecosistemas (Ramírez y Viña, 1998), así mismo el oxígeno se verá en decrecimiento a medida en que la temperatura aumenta, en este caso el bosque que protege la quebrada, ayuda a que la radiación solar no ingrese directamente al cuerpo de agua, y se mantengan unos rangos ideales de temperatura.

Otro de los parámetros evaluados fue la turbidez que se relaciona con la cantidad de sólidos en suspensión, debido a que el material particulado que se encuentra suspendido no logran sedimentarse, siendo de tamaño menor a 0.01 mm. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción del arrastre y soporte del movimiento del agua (IDEAM, 2007), además, la turbiedad en el agua incide en la transparencia, en la transmisión de la luz y en sí en el flujo de energía dentro del ecosistema (Roldan, 1992).

La conductividad en aguas naturales sirve para medir la cantidad de iones; y por lo tanto se correlaciona con los sólidos disueltos y con la salinidad (Vásquez, 2002). Además los sólidos disueltos totales TDS corresponden a materia orgánica e inorgánica y son invisibles por separado, ya que se encuentran en forma molecular o ionizada (IDEAM, 2007). Por lo tanto la conductividad se relaciona con los sólidos disueltos debido a que se encuentra cierta cantidad de sales minerales en los TDS y son los encargados de que la corriente eléctrica se transporte.

Por otro lado se midieron la cantidad de iones (mg/l) de alcalinidad siendo un parámetro asociado a las formas en las cuales el gas carbónico puede encontrarse en el cuerpo de agua, indicando la presencia de iones de bicarbonato y carbonato, y que están relacionada con la dureza total por la presencia de iones de Calcio (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++}), siendo los cationes más abundantes en las aguas continentales, en términos generales los sistemas acuáticos con valores bajos de dureza son biológicamente poco productivos, mientras que altos valores de dureza son mayormente productivos (Vásquez 2002). Entre tanto El pH representa el potencial de hidrogeniones (H^+) e indica la concentración de estos iones en el agua. Los valores van de 0.0 a 14, siendo 7 un pH neutro, valores por debajo de 7 son ácidos y por encima es básico (Roldan, 1992).

Los ecosistemas acuáticos reciben diferente tipos de contenidos, entre los más relevantes se encuentran los nutrientes como el nitrógeno el cual puede estar presente en el agua mediante nitratos (NO_3), nitritos (NO_2), amoníaco (NH_3), amonio (NH_4), óxido nitroso (N_2O), nitrógeno molecular (N_2), y nitrógeno orgánico disuelto. Para el análisis de la calidad de las aguas son de gran importancia el amonio, nitritos y nitratos, pues son considerados como indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica. (Vásquez, 2009). Por lo anterior este nutriente está relacionado con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y se define como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias en los procesos de descomposición de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas (Roldan, 1992). Este proceso es el resultado de una actividad biológica, es decir que se involucra una población, que es la encargada de dicho proceso durante cinco (5) días, puesto que en este tiempo la mayor parte de la materia orgánica alcanza su descomposición. Entre tanto el fosforo se encuentra presente en forma de ortofosfatos y el fosfato formado especialmente por fósforo orgánico disuelto, el cual es descompuesto por acción bacteriana. Los fosfatos aumentan en pH básicos y disminuye en pH ácidos. (Vásquez, 2009). Es importante mencionar que la mayor parte de las concentraciones de los nutrientes que llegan a los cuerpos de agua tienen como origen el

procesos agrícolas mediante el uso de fertilizantes o los que resultan del uso de detergentes en las viviendas (Lavie, Morábito, Salatino, Bermejillo, y Filippini, 2010).

5.6 Microbiología del agua

5.6.1 Microorganismos presentes en el agua

El conjunto de microorganismos que se encuentran en el agua, se encuentran divididos específicamente en dos grupos: el primero lo conforman las bacterias autóctonas, las cuales habitan en el cuerpo de agua y solo pueden desarrollarse en este medio, el segundo está conformado por las bacterias de otros biotopos, especialmente bacterias procedentes del suelo (Marín, 2003), por ejemplo al cuerpo de agua llegan las bacterias por arrastre y escorrentía, pues la pendiente del lugar permite el ingreso de estas.

5.6.2 Bacterias coliformes

Las bacterias coliformes son organismos que permiten determinar si el agua está libre de organismos patógenos, pues a pesar de que se encuentran en el tracto intestinal de animales de sangre caliente, no forman parte de estos microorganismos, pero si pueden indicar la presencia de patógenos como los coliformes fecales, los cuales se convierten en un peligro para la salud pública (Frank, McCallion y Nalco, 1979).

5.7 Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA)

Mediante la Resolución 2115 de 2007, se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, en el cual se establece un puntaje de riesgo (IRCA) al no cumplimiento de los valores permitidos para características físicas, químicas y microbiológicas en la resolución.

5.7.1 Calificación del IRCA

El índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para consumo humano va desde 0-100, siendo cero (0) cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de los criterios establecidos en la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 1. *Puntaje de Riesgo a características físico-químicas y microbiológicas. Fuente Resolución 2115 de 2007.*

Característica	Puntaje de riesgo
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio	3
Fluoruros	1
COT	23
Coliformes Totales	15
Escherichia coli	25
Sumatoria puntajes asignados	100

5.7.2 Cálculo del IRCA

Para calcular el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA, se realizó utilizando las siguientes formulas:

Formula 1 IRCA por muestra

$$\text{IRCA \%} = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

Formula 2 IRCA mensual

$$\text{IRCA \%} = \frac{\sum \text{de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número total de muestras realizadas en el mes}}$$

Tabla 2 Calificación IRCA y nivel de riesgo. Fuente Resolución 2115 2007.

Calificación IRCA	NIVEL DE RIESGO	Condición del Agua
Entre 80.1-100%	INVIABLE SANITARIAMENTE	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia del prestador, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
Entre 35.1%-80%	ALTO	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia del prestador, alcaldes, gobernadores
Entre 14.1%-35%	MEDIO	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia del prestador
Entre 5%-14%	BAJO	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento
Entre 0%-5%	SIN RIESGO	Agua apta para consumo humano

5.8 Índices de Contaminación ICOs

5.8.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Se expresa en numerosas variables de las cuales se toman en cuenta la conductividad como el reflejo del conjunto de los sólidos disueltos, la dureza por cuanto recoge los cationes de calcio

y magnesio, y la alcalinidad porque hace lo propio con los aniones de carbonatos y bicarbonatos.

Fórmula 3. *Índices que aplican para la obtención del Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)*

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I \text{ conductividad} + I \text{ dureza} + I \text{ alcalinidad})$$

5.8.2 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Se toman en cuenta la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y % saturación de oxígeno las cuales en conjunto recogen efectos distintos de la contaminación orgánica.

Fórmula 4. *Índices que aplican para la obtención del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)*

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I.DBO + I.Coliformes \text{ totales} + I.\% \text{ oxígeno})$$

5.8.3 Índice de contaminación sólidos suspendidos (ICOSUS)

Se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos

Fórmula 5. *Parámetro que aplica para el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)*

$$ICOMO = 0.02 + 0.003 \text{ Sólidos suspendidos (mg/l)}$$

5.8.4 Índice de contaminación trófico (ICOTRO)

Se determina por la concentración de fósforo total, a diferencia de los demás índices en los que se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración de fósforo define una categoría discreta a saber:

Tabla 3. *Concentraciones de fosforo y el tipo de categoría que las define. Fuente Ramírez y Viña (1998).*

Oligotrofia	<0.01 (mg/l)
Mesotrofia	0.01-0.02 (mg/l)
Eutrofia	0.02-1.00 (mg/l)
Hipereutrofia	>1.00 (mg/l)

5.9 Componente biológico

5.9.1 Macroinvertebrados acuáticos MAE

Para la evaluación de las condiciones de un ecosistema acuático se estudia a menudo la estructura de las comunidades bénticas, pues la presencia de estos organismos arroja índices que se complementan con los resultados fisicoquímicos del ecosistema (Correa, et al. 1981).

Los macroinvertebrados son aquellos organismos que se pueden ver a simple vista, los cuales poseen tamaños superiores a los 0,5 mm de largo. En esta categoría se agrupan los poríferos, hidozoos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gastrópodos y bivalvos (Roldan, 1992).

El hábitat de estos organismos cambia de acuerdo a sus capacidad de adaptación y las características del lugar, es así como unos viven adheridos a las rocas, troncos sumergidos o restos de vegetación, otros se entierran en sustratos arenosos, fangosos pedregosos (Álvarez, 2005).

El uso de los macroinvertebrados

5.9.2 Método BMWP/Col

El método consiste en la asignación de un valor como bioindicador a cada una de las familias, las cuales están distribuidas en 10 grupos de acuerdo a una escala de mayor a menor tolerancia de contaminación en los medios acuáticos.

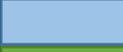
Tabla 4. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col (Roldán, 2003).

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae,	2
Tubificidae	1

5.9.3 Valores índice BMWP adaptado para Colombia

La asignación de puntajes para el BMWP va de 1-10 para cada familia de acuerdo al nivel de tolerancia. Las familias más tolerantes reciben un valor de 1, mientras que las más sensibles valores de 10. La suma de los valores de todas las familias en un determinado sitio arroja el puntaje BMWP.

Tabla 5. Clases, valores y características de las aguas mediante el índice BMWP adaptado para Colombia.

Clase	Calidad	Valor	Característica	Color Cartográfico
I	Muy buena	>121	Aguas muy limpias	
II	Buena	101-120	Aguas limpias aguas no contaminadas o no alteradas	
III	Aceptable	61-100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	
IV	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	
V	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	
VI	Muy critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	

5.10 Índices de diversidad

En cuanto a la diversidad se fundamenta en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados y su respuesta la calidad del hábitat en base a las medidas de riqueza, uniformidad y abundancia (Zúñiga y Cardona, 2009). Algunos de los índices más utilizados son: Shannon & Wiener, Simpson, Margalef.

5.10.1 Índice de Shannon-Weaner

Asume que todas las especies están representadas en las muestras; indican qué tan uniformes están representadas las especies (en abundancia) teniendo en cuenta todas las especies muestreadas (Villareal et al. 2004)

Fórmula 6. Índice de Shannon-Weaner.

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

Dónde: n_i = Número de individuos por género

N = Número total de individuos

\ln = Logaritmo natural

5.10.2 Índice de Simpson

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie (Moreno, 2001). Y se determinó mediante la siguiente formula:

Fórmula 7. Índice de Simpson

$$\lambda = \sum P_i^2$$

Dónde: p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra

5.10.3 Índice de Margalef

Este índice relaciona el número de especies de acuerdo con el número total de individuos (Villareal et al. 2004) y se obtiene mediante la siguiente formula:

Fórmula 8. Índice de Margalef

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

Dónde: S = Número de especies

N = Número total de especies encontradas

6. MARCO LEGAL

El uso responsable del recurso hídrico es un tema que ocupa interés mundial, nacional y local para las autoridades encargadas de regular en los diferentes usos y propósitos del agua, es por ello que se crean unas políticas ambientales, encargadas de regir y regular en el uso razonable del recurso, reglamentos técnicos en la prestación de servicio, control y vigilancia, por parte de las autoridades encargadas etc., a continuación se presentan los lineamientos políticos como protección jurídica del agua para consumo humano, y del uso sostenible del agua.

Como perspectiva de proteger y defender el medio ambiente, así como las obligaciones como deberes y derechos por parte del estado y las personas, la **constitución política de Colombia 1991**, ha propuesto por ejemplo en el artículo 8 en el que el estado planificara el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, con el fin de garantizar un desarrollo sostenible, por otro lado el artículo 79 establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, siendo un deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, por otro lado el artículo 80 dice que el estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Decreto 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, en el cual establece unos lineamientos para cada uno de los recursos y el cual en la parte III desde el artículo 77-163 resalta cada uno de los deberes, derechos, concesiones, sanciones, condiciones, disposiciones, etc., del recurso hídrico para el manejo y aprovechamiento responsable del mismo, y en el que la preservación y el manejo de los recursos naturales son de utilidad pública e interés social.

Por otro lado se establece un sistema para la protección y control de la calidad del agua, mediante el **Decreto 1575 de 2007** el objeto del presente decreto tiene como fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.

Esta normativa aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.

Decreto 1594 de 1984: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

En el artículo 4 enfatiza en que los criterios de calidad establecidos, son utilizados como base de decisión en el ordenamiento, asignación de usos al recurso y determinación de las características del agua para cada uso, siendo en este caso en primer lugar uso para consumo humano y doméstico y en segundo lugar en como uso agrícola y pecuario.

Por otro lado el **Decreto 1449 de 1977**, en el artículo 2 en relación con la conservación, protección y aprovechamiento de las aguas y el artículo 3 en relación con la protección y conservación de los bosques, son los propietarios los encargados del control y manejo de los recurso, debido a que los sistemas de acueductos en las zonas rurales no son vigilados por una autoridad competente, son los propietarios de los predios los que deberán cumplir con una serie de requisitos encaminados a la conservación, protección y aprovechamiento de los cuerpos de agua.

Resolución 2115 del 2007: 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. En la búsqueda de las características que debe tener el agua se presentan unos puntajes como valor máximo aceptable para el consumo humano, además en el artículo 15 se presenta la clasificación del nivel de riesgo, en el que se establecen los rangos del IRCA y el nivel de riesgo correspondiente.

Resolución 1096 de 2000: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS., en el que señala los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, obras y procedimientos correspondientes, en función de emplear tratamientos para conocer la calidad del agua para consumo humano de acuerdo al grado de contaminación en el que se encuentre el cuerpo de agua, esto con el objetivo de garantizar la seguridad, funcionamiento adecuado, calidad, eficiencia y sostenibilidad

7. ANTECEDENTES

A nivel mundial y nacional, se han realizado múltiples estudios enfocados en la evaluación de la calidad del agua, teniendo como uso indicadores fisicoquímicos, bacteriológicos y biológicos, que permiten conocer la calidad del agua para consumo humano, además de ser una herramienta para la evaluación del estado de los ecosistemas acuáticos.

A nivel regional la CVC en el año 2004, realizó un estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios, mediante el uso de índices de calidad e índices de contaminación. El estudio de la calidad del agua permitió evaluar índices de contaminación por mineralización (ICOMI), índices de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índices de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), e índices de contaminación por nivel trófico (ICOTRO). Mediante estos índices se tuvo como resultado un nivel alto de contaminación, especialmente por aguas residuales de la Ciudad de Cali, aguas residuales provenientes de la zona industrial y las descargas de los ríos tributarios que también se ven influenciados a la contaminación por descargas residuales tanto domésticas como industriales.

Por otra parte Sanz, Vásquez y Zamora (1998), realizaron un estudio limnológico de los principales ríos del trayecto del andén pacífico caucano comprendido entre los municipios de López de Micay, Timbiquí y Guapi, este estudio tuvo como base la evaluación de parámetros fisicoquímicos, biológicos y bacteriológicos. Los resultados fisicoquímicos y biológicos obtenidos, arrojaron valores óptimos y condiciones de equilibrio en los ecosistemas evaluados, pues el registro íctico reflejó una variedad de especies de importancia ecológica. Sin embargo la calidad microbiológica, presentó unos niveles altos de contaminación, especialmente por materia fecal, determinando que las condiciones no son óptimas para el consumo humano.

En cuanto al uso de indicadores biológicos los primeros estudios como el de Roldan, et al., (1973), en el que evaluaron los efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín, donde se establecieron siete estaciones obteniendo mediciones bimensuales fisicoquímicas y biológicas. Durante el estudio comprobaron que a medida que las condiciones de contaminación se iban haciendo más drásticas, comenzaba a disminuir la diversidad de especies, hasta llegar al punto de aparecer una comunidad propia de aguas contaminadas. Posteriormente (Pérez y Roldan, 1978) evaluaron los niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del río Rionegro, en este se

tomaron cinco estaciones para realizar muestreos mensuales de parámetros fisicoquímicos y biológicos, mediante los resultados detectaron un deterioro ecológico del río Rionegro, como producto de los desechos de la ciudad de Rionegro y la zona industrial

Por otro lado Matthias y Moreno (1983), realizaron un estudio de algunos parámetros físico químicos y biológicos del río Medellín, estableciendo ocho estaciones, además se muestrearon ocho de sus principales afluentes, por medio de este se evaluaron trece parámetros físico-químicos y se tomaron muestras benticas para evaluar la calidad biológica, con base en los datos obtenidos, pudieron determinar que el río presenta un alto deterioro de sus aguas.

Con respecto al Biological Monitoring working Party (BMWP), se realizó una adaptación para Colombia por Zamora (1999) para la evaluación biológica de las aguas epicontinentales, posteriormente Roldan (2003) lo modifica como método de bioindicación de la calidad del agua en Colombia BMWP/Col., el cual es un proceso para medir la calidad del agua mediante la sumatoria de los puntajes correspondientes a las diferentes familias de macroinvertebrados que se registre, tomando en cuenta que las familias tienen diferentes grados de sensibilidad y/o tolerancia a la contaminación.

Forero et al. (2013), realizaron una caracterización físico-química y biológica de la cuenca del río Opia (Tolima-Colombia), con el fin de determinar la calidad de las aguas mediante la fauna béntica y variables fisicoquímicas. Para este estudio se trabajaron en 14 estaciones el donde se obtuvo un total de 11573 individuos distribuidos en 4 phylum, 7 clases, 16 ordenes, 50 familias y 98 géneros. En la parte fisicoquímica se evaluaron 14 parámetros y 1 de microbiología para establecer la influencia que tienen sobre los macroinvertebrados. Se evaluaron índices biológicos como el Biological Monitoring Working Party (BMWP/col) e índices de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS) y mediante estos índices fisicoquímicos y biológicos determinar su calidad.

8. MARCO METODOLOGICO

8.1 Tipo de estudio:

El estudio es de tipo descriptivo, puesto que se parte de una realidad, teniendo como fin diagnosticar las características y condiciones del agua para el consumo humano, así como las posibles fuentes de contaminación, estado de la fuente de abastecimiento de la población, actividades socioeconómicas, entre otras.

8.2 Reconocimiento previo del área de estudio y selección de las estaciones de muestreo

Inicialmente se realizó una visita al área de estudio con una persona encargada del acueducto de la vereda y habitante beneficiario, quien brindó el acompañamiento y a su vez la información acerca del diseño, infraestructura, capacidad y funcionamiento del acueducto, se lograron establecer cuatro estaciones a muestrear: parte alta de la quebrada, bocatoma, tanque de almacenamiento y una vivienda diferente para cada mes de muestreo.

8.3 Búsqueda de información y elaboración de propuesta

En cuanto a la elaboración de la propuesta se tomaron en cuenta parámetros físico-químicos, biológicos y microbiológicos de acuerdo a los requerimientos de calidad de aguas que establece la RAS, (2000), lo cual permitió aplicar a cada una de las estaciones de muestreo y de este modo cobrar interés en la determinación de las condiciones del agua de la quebrada Palestina como fuente de abastecimiento de la población de la vereda Guayabo Negro.

8.4 Fase de campo

8.4.1 Muestreos físico-químicos.

Se realizaron un total de tres muestreos por estación, (febrero-abril-junio). El punto de muestreo para los parámetros físico-químico se realizó en las estaciones: la parte alta de la quebrada, la bocatoma, el tanque de almacenamiento y una vivienda. Para los parámetros como pH, conductividad, dureza, alcalinidad, nitritos, nitratos, amonio, fosfatos, sólidos suspendidos, etc. se tomaron muestras de agua en recipientes plásticos con capacidad de 1 litro, los cuales fueron etiquetados con hora, fecha, lugar de recolección para la determinación de los valores en cada estación, seguidamente se procedió a introducir las muestras en una nevera de icopor con hielo para su preservación (Resolución 2115 de 2007), y así realizar el traslado hasta el laboratorio de física y química de la Fundación Universitaria de Popayán, donde fueron tratadas con equipos electrónicos como conductímetro portátil, turbidímetro, balanza analítica

y el kit aquamerck. Mediante la sonda multiparamétrica YSI se tomaron datos como, sólidos disueltos, oxígeno disuelto OD, % oxígeno saturado y temperatura hídrica, para la obtención del valor de temperatura ambiental se realizó utilizando un termómetro ambiental.

Tabla 6. Parámetros Físico-químicos Analizados. Fuente: Elaboración Propia.

Análisis	Parámetro	Método	# de Muestras
FISICO- QUIMICO	Temperatura	Potenciométrico	3
	pH	Potenciométrico	3
	Turbiedad	Fotométrico	3
	Conductividad	Potenciométrico	3
	Alcalinidad	Colorimétrico	3
	Nitritos	Colorimétrico	3
	Nitratos	Colorimétrico	3
	Amonio	Colorimétrico	3
	Fosfatos	Colorimétrico	3
	Dureza	Colorimétrico	3
	Oxígeno disuelto	Potenciométrico	3
	Sólidos disueltos	Potenciométrico	3
	Sólidos sedimentables	Cono de imhoff	3
	DBO	Electrométrico	3

8.4.2 Muestreo bacteriológico

De acuerdo a la metodología del Instituto Nacional de Salud (INS, 2012) la toma de muestras debe ser representativas con el fin de enfatizar en la determinación de la calidad del agua. Para la recolección de las muestras se emplearon recipientes esterilizados con capacidad de 1 litro, los cuales se sumergieron y se llenaron por completo a modo de evitar dejar aire en el interior del recipiente evitando una posible contaminación de la muestra. Estas muestras fueron introducidas en una nevera de icopor con hielo para su conservación y traslado hasta el laboratorio para sus respectivas mediciones y obtención de datos. Este procedimiento se realizó durante 3 meses (Febrero-Abril-Junio), siendo los dos primeros meses en el laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán y el otro restante en el laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán como referente base en la precisión de valores obtenidos.

La medición de los coliformes totales y fecales (*E. coli*), se realizó mediante el método de fermentación en tubos múltiples el cual es utilizado para obtener una estimación de bacterias en una muestra y que se expresa como el número más probable (NMP), que consiste en dos fases: presuntiva y confirmativa. (Roldan, 1992). La primera consistió en inocular volúmenes de 10 cc., 1 cc. y 0.1 cc de la muestra en series de tres tubos de caldo lactosado a 35 °C entre 2

y 48 horas. La segunda en el traspaso de cada cultivo de la prueba presuntiva en tubos con caldo bilis verde brillante (CLVBB).

8.4.3 Colecta y clasificación de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE).

La captura y colecta de macroinvertebrados acuáticos MAE, se realizó durante 6 muestreos, 1 mensual entre (Febrero - Julio), para esto se aplicó el método de la red surber, que consta de un marco de 25cm x 25cm con una malla fina con poros de 300 μm ; bajo esta técnica se colocó la red en contra de la corriente removiendo el sustrato de fondo con el fin de atrapar los individuos asociados al cuerpo de agua (Roldan, 1996), la colecta se realizó en la estación 1 (parte alta) y estación 2 (bocatoma). Esta operación se repitió cuatro veces en cada punto para lograr así un muestreo aproximado de 1 m².

Los organismos capturados se tomaron con pinzas entomológicas y se depositaron en frascos con alcohol al 70% para su conservación. Los organismos fueron llevados al laboratorio de Ciencias Naturales de la Fundación Universitaria de Popayán, en donde fueron separados y clasificados hasta el nivel de género, utilizando un estereoscopio marca Nikon y guías metodológicas de identificación Roldan, (1996), Álvarez (2005). Se tuvo en cuenta la riqueza de géneros, la diversidad de Shannon-Weaver, la dominancia de Simpson y la riqueza de Margalef, además del BMWP para cada estación de muestreo como indicador de la calidad biológica del agua.

8.5 Análisis de resultados

Los resultados fisicoquímicos, bacteriológicos y biológicos obtenidos tanto en el laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán y en el Laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán durante los tres meses de muestreo; los datos fueron promediados con el fin de tabular y graficar mediante la aplicación en Microsoft Excel, para posteriormente compararlos con las normas vigentes y realizar el análisis correspondiente a manera de determinar la calidad del agua y su viabilidad sanitaria.

8.5.1 Análisis físico-químicos y bacteriológicos

Los valores obtenidos en el estudio fueron analizados mediante la Resolución 2115 del 2007 y el Decreto 1594 de 1984, en los que se establecen los valores máximos aceptables que deben tener los parámetros físico-químicos y microbiológicos en muestras o puntos de agua destinados para el uso de consumo humano.

8.5.2 Análisis biológicos (MAE)

Los datos obtenidos en los muestreos biológicos fueron organizados mediante Microsoft Excel para darle su respectivo análisis, buscando determinar la abundancia de organismos por géneros que se registrara en cada estación, y que características de habitat se asocian a ellos. Para la obtención de los índices ecológicos fueron tratados mediante el Software PAST 2.0, obteniendo índices como la riqueza de Margalef, diversidad de Shannon-Weaver y la dominancia de Simpson.

La evaluación de la calidad biológica del agua se realizó mediante el índice BMWP/Col., en donde se asignó el valor correspondiente a cada familia que se registró, de acuerdo con los puntajes que establece Roldan (2003). Los valores de todas las familias que se registraron para cada estación fueron sumados, y así se obtuvo el puntaje para El BMWP, que permitió determinar la calidad del agua.

9. RESULTADOS

9.1 Tensores ambientales que afectan el área de influencia

Los tensores corresponden a acciones antrópicas o eventos que causan efectos en diferentes elementos de los ecosistemas naturales, incluyendo la flora, fauna, componentes físicos y químicos (Ramírez y Viña, 1998). Aquellas acciones que el hombre realiza y que son parte de sus actividades, no solo ocasiona la limitación del recurso en cuanto a su calidad, sino también que altera las condiciones deseadas para que muchos organismos puedan sobrevivir (Salazar, 1978).

Los problemas que se lograron evidenciar como efectos de las actividades humanas en el área de estudio es la pérdida de cobertura vegetal en algunas partes del bosque que protege la quebrada Palestina, dado que se encuentran árboles cortados en algunos puntos (imagen 3), al mismo tiempo la parte alta de la quebrada se encuentra limitada a cada lado por dos áreas destinadas para uso ganadero y de diferente propietario, siendo en uno de los casos en donde el ganado logra avanzar más allá de ese límite, puesto que se evidencia heces de bovinos (imagen 3), debido a que no hay una cerca o barrera que impida el acceso de los bovinos a la quebrada o cerca de ella. Este problema sería el principal factor en la alteración de los valores microbiológicos los cuales sobrepasan el máximo permitido en todas las estaciones.

Imagen 3. Tensores que afectan la quebrada y su bosque. Izquierda: tala de árboles, Derecha: heces de bovinos.



9.2 Resultados Físico-Químicos

Con el fin de conocer la calidad del agua de la quebrada Palestina, teniendo como propósito directo el uso para el consumo humano, se parte de la aplicación de una serie de parámetros físico-químicos obtenidos en muestras de cuatro estaciones, los cuales serán procesados para obtener índices y posteriormente ser analizados mediante guías, legislación y demás, con el fin de tener una aproximación a cerca de la calidad físico-química del agua y su posible viabilidad.

En cada una de las estaciones muestreadas se analizaron parámetros físicos como la temperatura, turbidez, conductividad y sólidos suspendidos y sedimentables, como características del agua y parámetros químicos como alcalinidad, pH, dureza, nitritos, nitratos, fosfatos, DBO, en función de la capacidad del agua como solvente.

A continuación (tabla 6) se presentan los resultados físico-químicos obtenidos para las cuatro estaciones en los diferentes meses muestreados.

Tabla 7. Resultados físico – químicos obtenidos en cada estación durante los tres meses muestreados. Fuente: elaboración propia

Parámetro	MES 1				MES2				MES 3			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
T° Ambiental	18.5	25	22.5	30.4	18.1	23.5	25.4	24.8	24.9	24.2	23.5	26.8
T Hídrica	16.7	16.6	16.8	19.9	16	16.6	17.6	21.7	17.4	18.6	20.8	18.2
Turbidez	2.17	2.97	1.16	1.25	1.51	1.48	2.54	1.30	1.24	1.08	1.08	1.78
Conductividad µsms/cm2	95.2	97.6	98.5	97.4	85.1	77.3	75.6	76.8	68.6	63.3	63.1	62.7
Alcalinidad	60.04	64.84	48.63	48.63	60.04	64.84	48.63	37.82	32.42	48.63	37.82	21.61
pH	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Dureza Total mgLCaCO3	39.16	35.6	49.84	32.04	42.72	35.6	53.4	46.28	32.04	24.92	17.80	32.04
Nitritos mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitratos	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amonio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fosfatos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oxígeno Disuelto	12.7	15.2	13.6	12.7	11.6	12.3	10.8	9.5	10.4	14.6	9.36	11.3
Oxígeno Saturado %	132	162	143	146	118	136	104	96	106	142	95	103
DBO	0	0.88	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solidos Disueltos Totales	88.4	91.65	91.7	91.5	87.45	78.0	79.95	81.9	80.4	90.5	89.7	90.5
Solidos Suspendidos	32.55	20.7	18.05	8.1	20.55	36	16.05	10.1	7.2	12.3	3.5	1.6
Sólidos Sedimentables	1.6	2.0	0.9	0.5	1.3	1.7	1.0	0.8	1.3	1.6	0.9	0.6

9.3 Resultados bacteriológicos

Los datos bacteriológicos fueron obtenidos los dos primeros meses en el laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán, determinando la presencia o ausencia de coliformes mediante el método del número más probable NMP (tabla 7) y el mes restante fue evaluado en el laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, donde se determinó el número de organismos en una muestra de 100 ml.

Tabla 8. *Resultados bacteriológicos obtenidos en el Laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán.*

ESTACIÓN	MES 1			MES 2		
	Coliformes Totales	<i>Escherichia Coli</i>	NMP	Coliformes Totales	<i>Escherichia Coli</i>	NMP
Parte alta	+	+	4	+	-	9
Bocatoma	+	+	11	+	-	43
Tanque de almacenamiento	+	-	21	+	-	43
Vivienda	+	-	21	+	-	43

Tabla 9. *Resultados bacteriológicos obtenidos en el Laboratorio del Acueducto de Popayán.*

ESTACIÓN	Coliformes Totales en 100 ml	<i>Escherichia Coli</i> en 100 ml	NMP
Parte alta	>2419,6	36,9	<1
Bocatoma	>2419,6	93,3	<1
Tanque de almacenamiento	1986,3	45,7	<1
Vivienda	686,7	13,5	<1

9.4 Resultados Biológicos

9.4.1 Composición y Estructura de MAE

En total se colectaron 274 individuos, distribuidos en 3 clases, 9 órdenes, 18 familias y 22 géneros (tabla 12). Con respecto a la riqueza de géneros, el orden trichoptera registra 4 géneros, los órdenes coleóptera y Odonata con 3 géneros, Ephemeroptera y Hemiptera con 2 géneros, y el orden de los dípteros con 2 géneros y 3 subfamilia

Tabla 10. Resultados de macroinvertebrados presentes en las dos estaciones muestreadas. Fuente: elaboración propia.

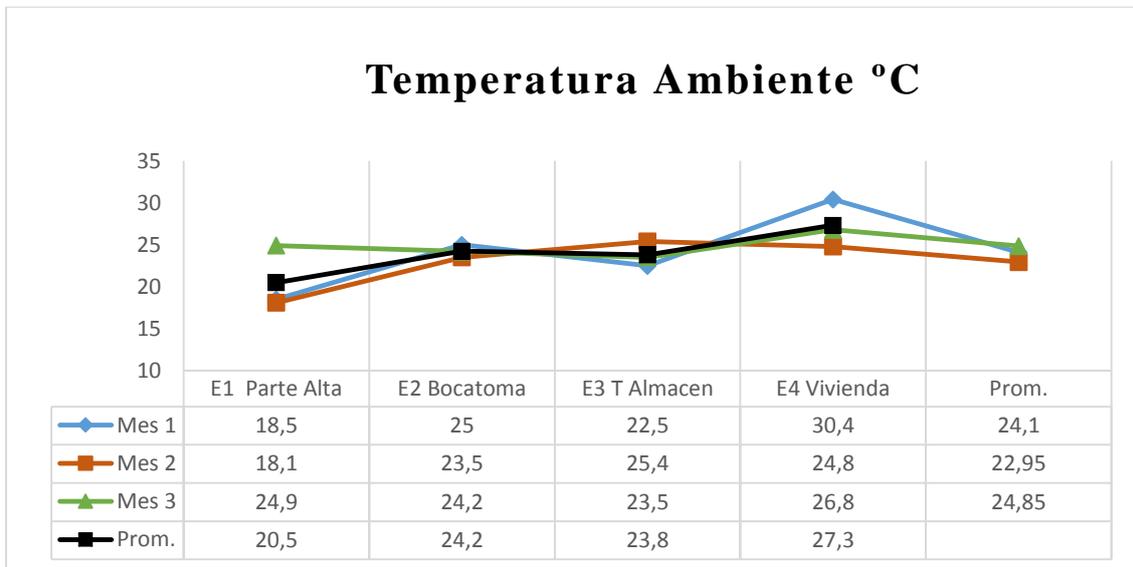
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESTACIONES		N	%N
					E1	E2		
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	<i>Triplectides</i>	3	1	4	1.45 %
			Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>	6	4	10	3.64 %
			Odontoceridae	<i>Marilia</i>	0	1	1	0.36 %
			Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	0	2	2	0.72 %
		Coleoptera	Elmidae	<i>Macrelmis</i>	3	6	9	3.28 %
				<i>Disersus</i>	1	0	1	0.36 %
			Ptilodactylidae	<i>Anchytarcus</i>	3	8	11	4.01 %
		Odonata	Libellulidae	<i>Flavescens</i>	0	1	1	0.36 %
			Gomphidae	<i>Phyllogomphoides</i>	3	1	4	1.45 %
			Polythoridae	<i>NN</i>	0	1	1	0.36 %
		Ephemeroptera	Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i>	3	4	7	2.55 %
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	5	7	12	4.37 %
		Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalis</i>	0	4	4	1.45 %
		Hemiptera	Velidae	<i>Rhagovelia</i>	0	31	31	11.31 %
			Guerridae	<i>Eurygerris</i>	0	18	18	6.56 %
		Diptera	Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	1	3	4	1.45 %
				<i>Típula</i>	0	1	1	0.36 %
				Chironomidae	<i>Ortocladinae</i>	5	2	7

				<i>Tanypodinae</i>	12	29	41	14.96 %	
				<i>Chironominae</i>	18	16	34	12.40	
	Malacostraca	Isópoda	Porcellionidae	<i>Porcelio</i>	6	3	9	3.28 %	
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	<i>NN</i>	23	39	62	22.62 %	
TOTAL	2	3	9	18	22	92	182	274	100 %

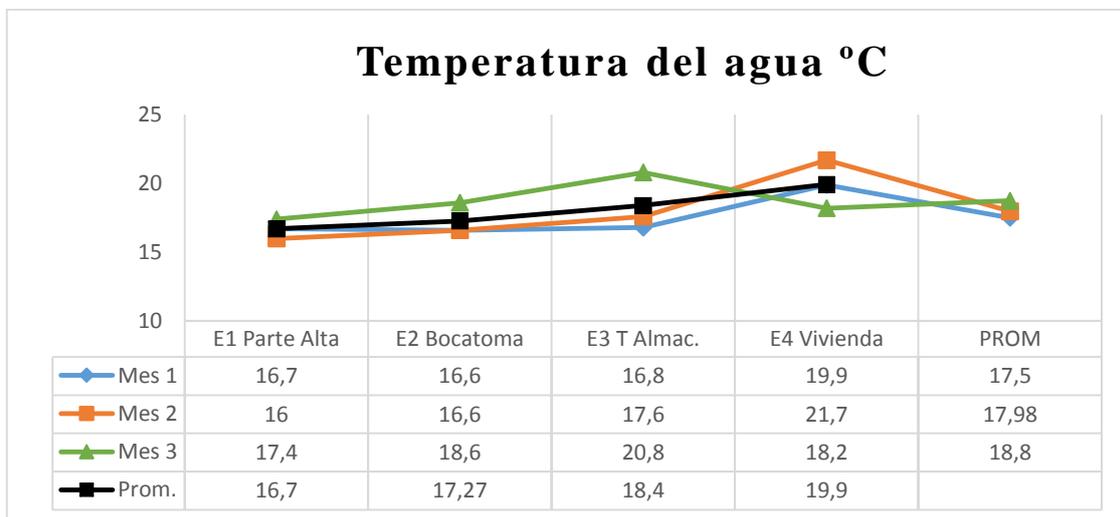
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Parámetros físico-químicos

10.1.1 Temperatura ambiental e hídrica.



Grafica 1. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de temperatura ambiental. Fuente: elaboración propia.



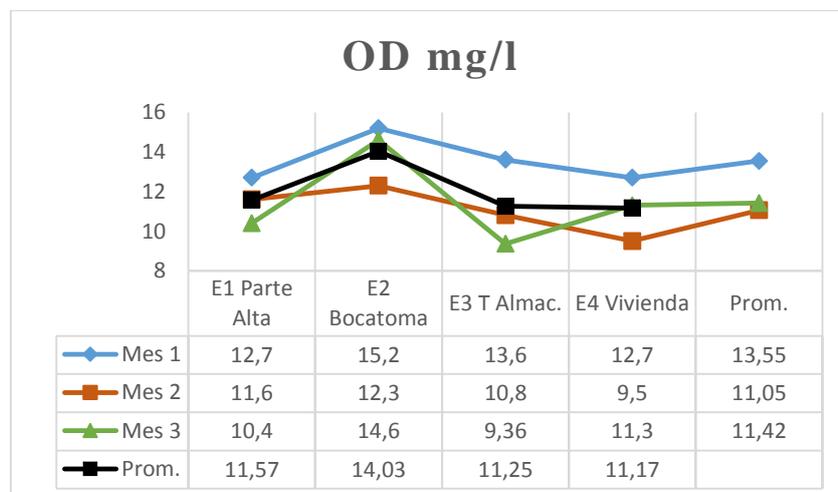
Grafica 2. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de temperatura del agua. Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 1, se muestra los valores por estación y por mes de temperatura ambiental y se presentan los valores promedios. Los resultados obtenidos marcan una diferencia de 12.3 °C., pues se presenta un valor mínimo de 18.1 °C en la E1 (parte alta) y un máximo de 30.4 °C en la E4 (vivienda). Con respecto a los promedios por estación se presenta una diferencia de 6.8 °C entre la E1 que arroja un promedio de 20.5 °C y la E4 un promedio de 27.3 °C., mientras que los promedios mensuales presentan una diferencia de 1.9 °C entre el segundo mes que presenta valor de 22.95°C, y el tercer mes con un valor de 24.85 °C.

En la gráfica 2, se muestran los valores de temperatura del agua como resultado de las cuatro estaciones en las que se registra un valor mínimo de 16 °C en la E2 (bocatoma) y un máximo de 21.7 °C en la E4 (vivienda), ambos datos obtenidos en el segundo mes de muestreo. Los promedios por estación marcaron una diferencia de 3.23 °C entre la E1 que presenta un valor de 16.7 y la E4 un valor de 19.93 °C, para los promedios mensuales la diferencia fue de 1.25 pues en el primer mes arroja un valor de 15.7 y en el tercer mes un valor de 18.75.

Tanto la T° ambiental e hídrica tuvieron variaciones tanto por estaciones como por mes, estas diferencias derivan de las características y condiciones del lugar donde se realizó la toma de las muestras si se observan los resultados los valores menores se presentan entre la E1 y E2 y los valores más altos entre la E3 y E4, esto debido a que las dos primeras se encuentran en el tramo donde está cubierta por el bosque que protege la quebrada y consigo la baja incidencia de la energía solar (Atlas y Bartha, 2002), lo que permite que la diferencia sea notoria entre los valores mínimos y máximos hallados, especialmente para la temperatura ambiental.

10.1.2 Oxígeno disuelto



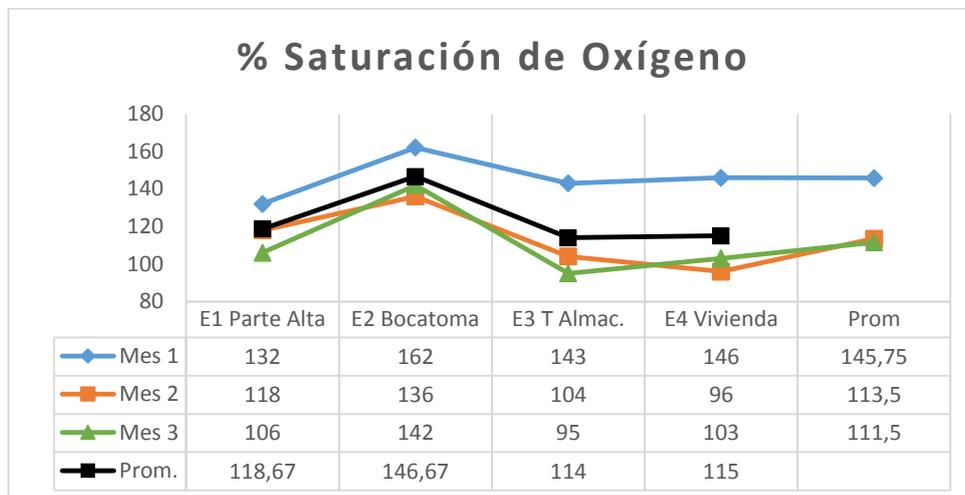
Grafica 3. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de oxígeno disuelto.
Fuente: elaboración propia.

Los resultados para oxígeno disuelto presentaron una variación con un valor mínimo de 9,36 mg/l en la E3 y un máximo de 15.2 mg/l en la E2. Con respecto a los promedios mensuales oscilan entre 11,4 y 13,55 mg/l, mientras que los promedios por estación van desde 11.16 en la E4 y de 14.03 mg/l., los altos niveles de oxígeno disuelto obtenidos en este caso se pueden generar debido a que entre la E1 y E2 se presentan características de lecho rocoso, sumado a pendientes que influye en una mayor concentración de oxígeno.

Tomando en cuenta las características del lugar entre la E1 y E2 se encuentra protegido por el bosque de ribera que impide o limita en cierto modo incidencia de energía solar y el aumento en los valores de la temperatura, pues la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se encuentra relacionado con este parámetro, pues a medida que la temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno aumenta (Roldan, 1992).

De acuerdo al decreto 1594 de 1984, valores por debajo de los 5 mg/l no son óptimos para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, la gráfica 10 muestra que los resultados obtenidos se encuentran por encima de este valor.

10.1.3 Saturación de oxígeno



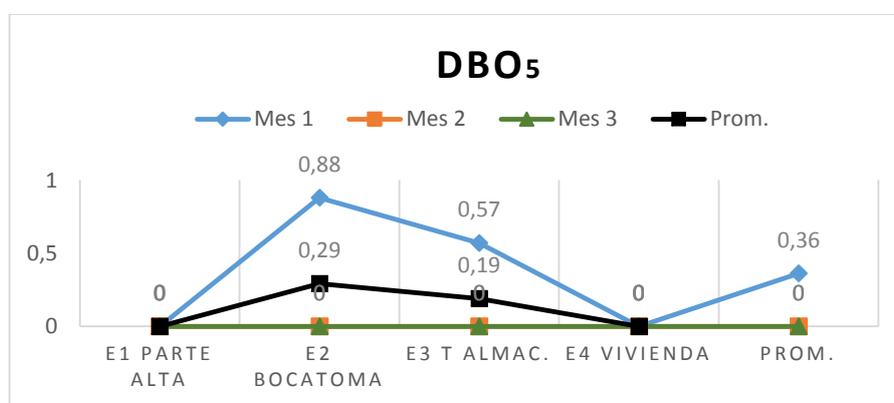
Gráfica 4. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de % saturación Oxígeno. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al nivel de saturación de oxígeno (%) se presenta un valor mínimo de 95 % en la estación 3 del tercer mes, y un máximo de 162 % en la estación 2 del primer mes. En la gráfica

11 se muestran los valores promedio obtenidos por estación que oscilan 114 y 146.6 % y los promedios mensuales que varían entre 111,5 % en el mes 3 y 145.7 % en el mes 1.

El valor % de saturación de oxígeno para cada altura y cada temperatura deben ser del 100 % o cercano a este, pues valores por debajo de este se considera aguas subsaturadas y valores por encima sobresaturadas (Roldan, 1992). De acuerdo al enunciado anterior se presentan algunos valores óptimos con valores cercanos al 100%, mientras que otros por encima de éste, indicando sobresaturación de oxígeno especialmente en el mes 1 el cual arroja un promedio de 145.7 %.

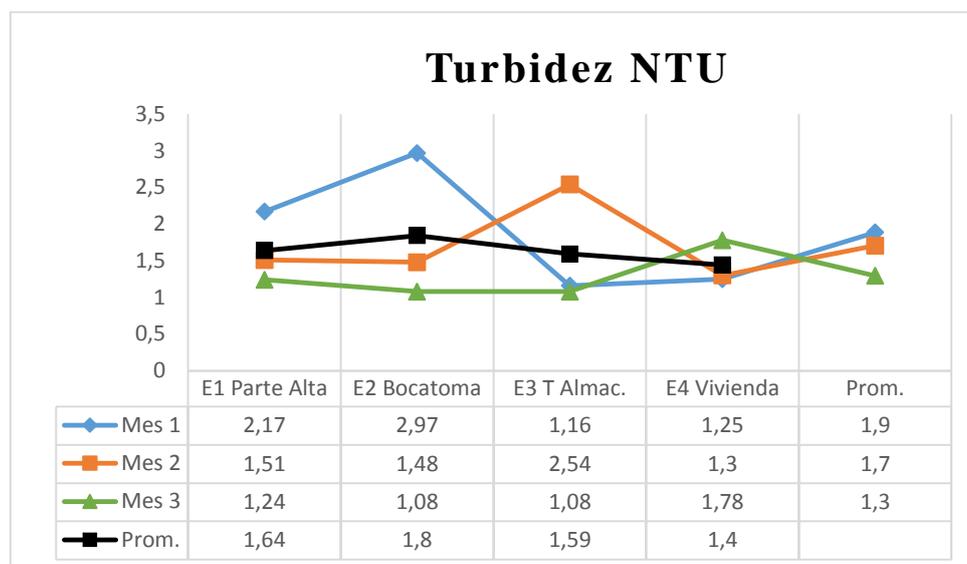
10.1.4 Demanda Biológica de oxígeno (DBO).



Grafica 5. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de DBO. Fuente: elaboración propia

Los valores obtenidos al quinto día para la DBO, fueron de 0.0 mg/l, en la mayoría de resultados excepto del primer mes donde se presentó un valor de 0.88 y 0.57 registrados en la E2 y E3 respectivamente. Estos valores se consideran bajos, sin embargo este es el resultado de la actividad biológica y dependerá, de la cantidad y caracterización de los microorganismos, además del valor de la temperatura (Vásquez, 2009). De acuerdo a Gómez, et al. (2004) en un estudio de la evaluación fisicoquímica y microbiológica de la calidad del agua de la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado en Antioquia, las cuales son áreas intervenidas por actividades agropecuarias, se registraron valores para DBO que no sobrepasaron los 2 mg/l pues en las 30 estaciones de muestreo se registraron valores que fluctuaron entre 0.33 – 1.95 mg/l., lo que indica que los valores de oxígeno necesarios para descomponer la materia orgánica por parte de los microorganismos se pueden presentar en bajas concentraciones o valores muy cercano a cero.

10.1.5 Turbidez.

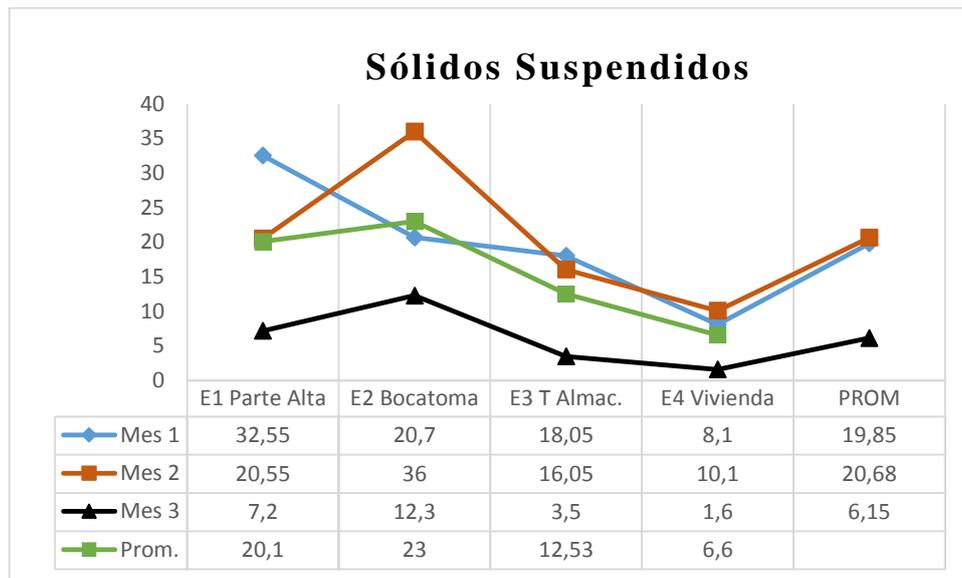


Grafica 6. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de turbidez. Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos de turbidez presenta un valor mínimo de 1.08 NTU, registrado en la E2 y E3 en el tercer mes y un máximo de 2.97 NTU en la E2 del primer mes de muestreo. Con respecto a la calidad del agua, la Resolución 2115 del 2007 establece un valor de turbidez máximo para el consumo humano de 2.0 NTU, lo que indica que tres de los valores: 2.17 en la E1, 2.97 en la E2, registrados en el primer mes y 2.54 en la E3 del segundo mes, no se ajustan al límite permitido. Con respecto a estos datos se considera que no son aptos para el consumo, sin embargo los promedios por estación reflejan valores entre 1.44 NTU y 1.84 mientras que los promedios mensuales muestran valores que oscilan entre 1.29 y 1.88. NTU ver grafica 3.

En cuanto a los valores que se registraron en este estudio, a manera sanitaria se encuentran tres datos ya mencionados que sobrepasan el valor deseado, pero haciendo un enfoque ecológico valores cercanos a 20 NTU son los ideales para que se dé un equilibrio entre los flujos energéticos y niveles tróficos (Vásquez, 2009). Los valores de turbiedad pueden ir desde cero en aguas puras hasta miles de unidades en ríos turbios donde la concentración de materiales suspendidos de distintos tamaños y composición es mayor (Roldan, 1992). Entre la estación 1 (Parte alta) y 2 (Bocatoma) se presentan pendientes a cada lado del cauce, lo que permite que lleguen materiales suspendidos con mayor facilidad, ya sea por escorrentía o por gravedad.

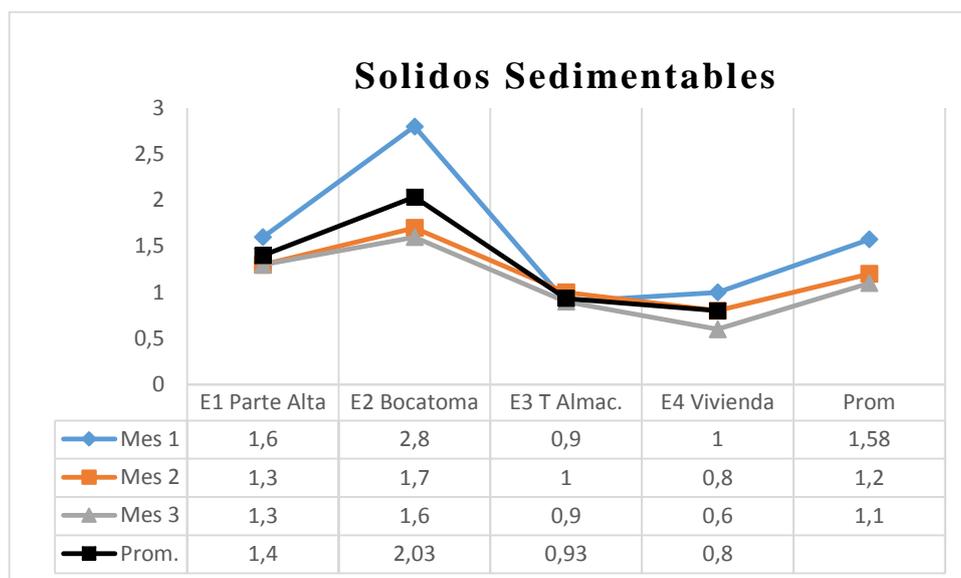
10.1.6 Sólidos suspendidos.



*Grafica 7. Valores por cada estación y los promedios mensuales de sólidos suspendidos.
Fuente: elaboración propia.*

Los resultados obtenidos presentan un valor mínimo de 1.6 mg/l registrado en la estación 4 y un máximo de 32.55 en la estación 1, presentando una diferencia mayor con respecto a los promedios, pues se presenta promedios mensuales de 19.85 en el mes 1 y 20.67 en el mes 2 y 6.15 en el mes 3. Con respecto a los promedios por estación los valores disminuyen en cierta medida entre la estación 1 y estación 2 hasta la estación 3 y estación 4, esto puede relacionarse en parte a que disminuyen la concentración de estos sólidos en el desarenador el cual se encuentra entre la E2 y la E3, además al estar relacion.

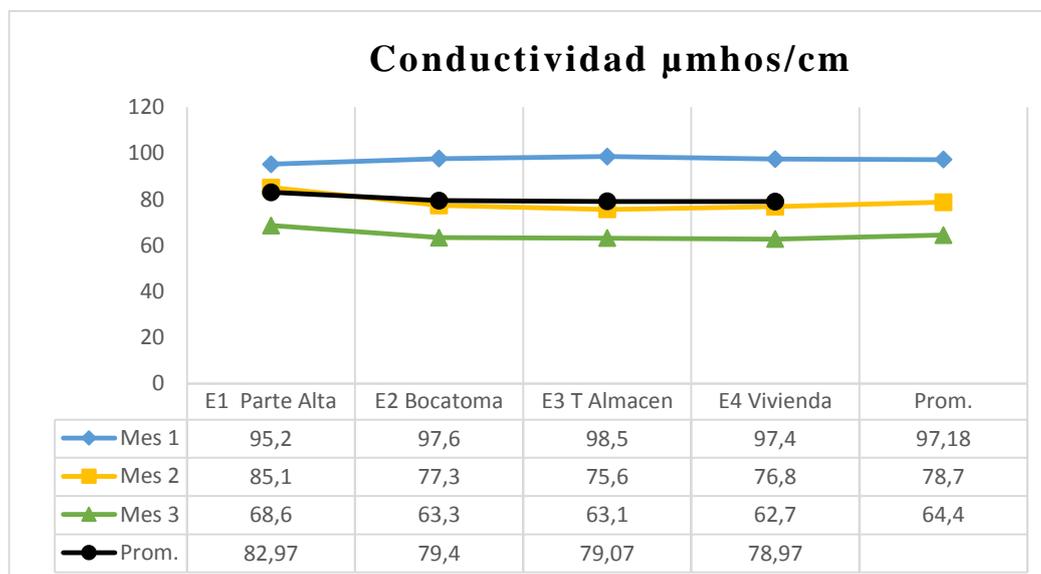
10.1.7 Sólidos sedimentables.



Grafica 8. Valores por cada estación y los promedios mensuales de sólidos sedimentables
Fuente: elaboración propia.

La grafica 15 muestra que los sólidos sedimentables tienen una variación que va desde los 0.6 mg/l registrado en la estación 4 hasta 2.8 mg/l en la estación 2, marcando una diferencia de 2.2 mg/l entre estos dos puntos. Sin embargo los promedios por estación y por mes muestran diferencias menores puesto que entre las estaciones 1 (parte alta) y 2 (bocatoma) se presentan valores un poco más altos, debido a que para estas estaciones hay aporte de material particulado, pues en este tramo presenta una mayor pendiente, especialmente en la estación de la bocatoma.

10.1.8 Conductividad.

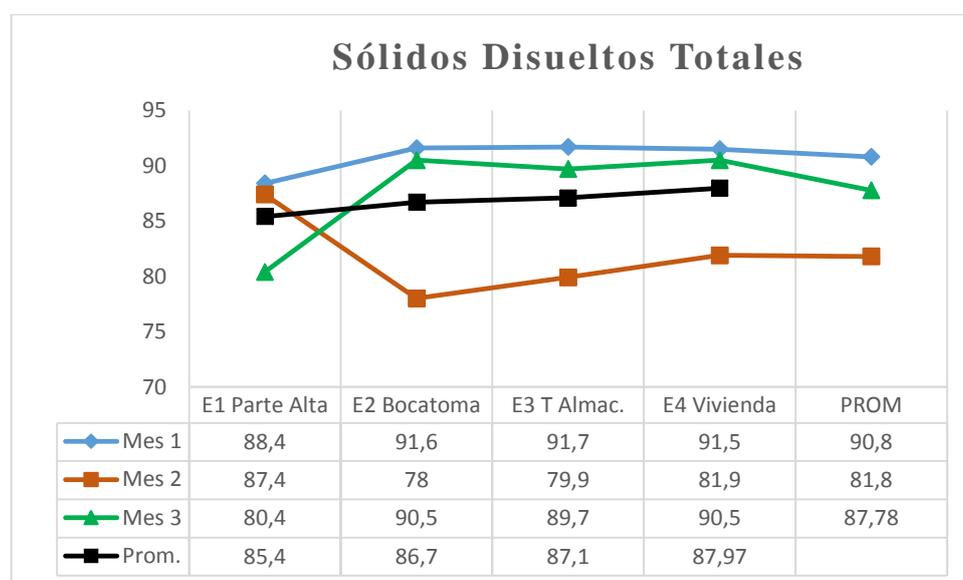


Grafica 9. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de conductividad. Fuente: elaboración propia.

Los resultados para conductividad presentan una variación, especialmente entre los meses muestreados. Los datos arrojan un valor máximo de 98.5 $\mu\text{mhos/cm}$ en la E3 y un mínimo de 62.7 $\mu\text{mhos/cm}$ en la E4. Comparando estos valores se presenta una diferencia de 35 $\mu\text{mhos/cm}$ entre las estaciones mencionadas, este valor se asemeja al obtenido en los promedios mensuales, el cual marca una diferencia de 32.75 entre el mes 1 y mes 3. Sin embargo en los promedios por estación se presenta un valor de 78.96 en la E4 y un valor de 82.96 en la E1, marcando una diferencia de 4.0 $\mu\text{mhos/cm}$., lo que indica que la diferencia es menor con respecto al valor mínimo y máximo registrados.

Con respecto a la calidad del agua la Resolución 2115 del 2007 establece un valor máximo para conductividad de 1000 $\mu\text{mhos/c}$ lo que indica que los resultados obtenidos para este parámetro se ajustan al valor óptimo para el consumo humano.

10.1.9 Sólidos disueltos totales (STD).

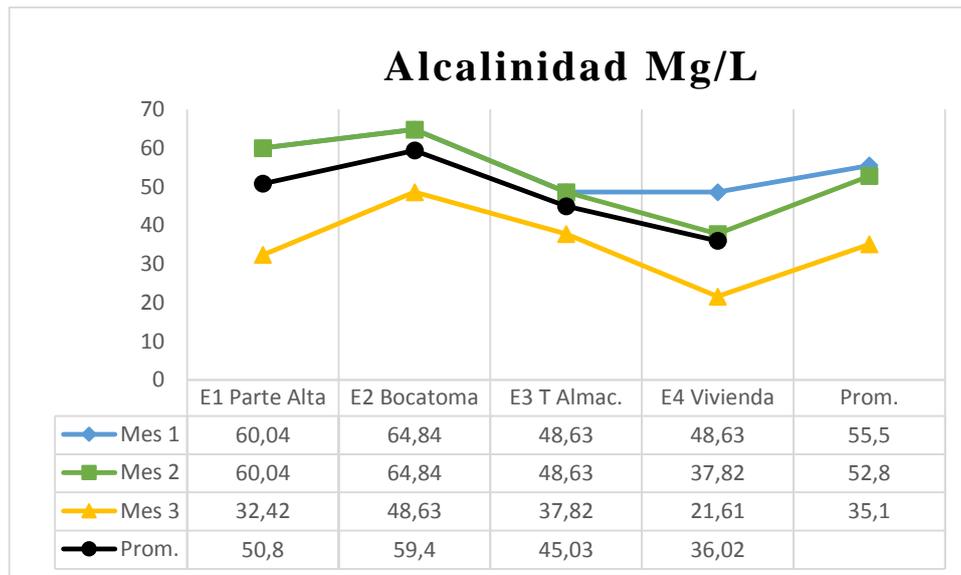


Grafica 10. Valores por cada estación y los promedios mensuales de sólidos disueltos totales. Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos para este parámetro presento un valor mínimo de 78 mg/l y un máximo de 91.7 mg/l, a nivel general no se presentó una variación considerable pues observando los promedios por estación se encuentran rangos entre 85.4 y 87.96 mg/l y los promedios mensuales entre 81.8 y 90.8 mg/l. Vásquez (2001) clasifica aguas de naturaleza trófica a valores comprendidos entre (50 -200 mg/l), valores que fueron registrados en cada una de las muestras.

Los sólidos totales disueltos corresponden a la cantidad de mg/l de sustancias de origen orgánico e inorgánico, por lo tanto se correlaciona con la conductividad como medida de la cantidad de iones presentes en el agua, en cierto modo incide en los procesos bioenergéticos y la presencia de material en suspensión (Vásquez, 2009).

10.1.10 Alcalinidad.

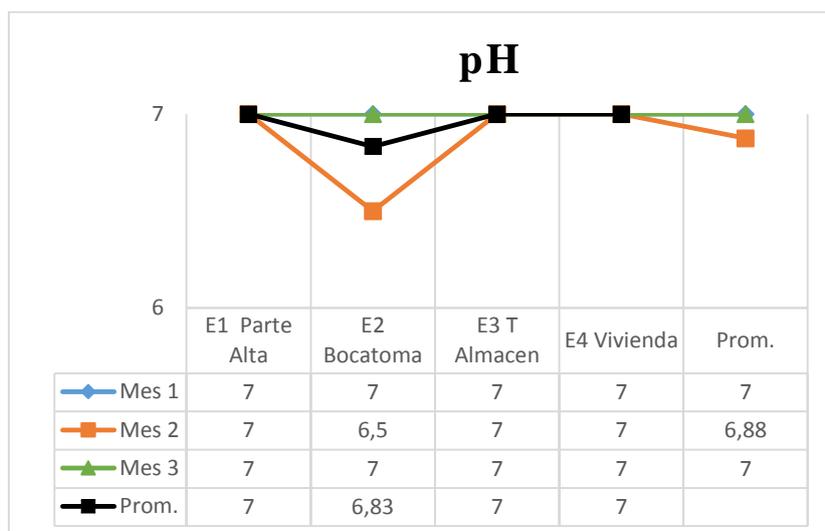


*Grafica 11. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de alcalinidad.
Fuente: elaboración propia.*

Los resultados de alcalinidad arrojan un valor mínimo de 21.61 mg/l CaCO₃ en la E3 (tanque de almacenamiento) y un máximo de 64.84 mg/l CaCO₃ en la E2 (bocatoma), marcando una diferencia de 43.23 mg/l CaCO₃ entre estos dos puntos. Sin embargo los promedios mensuales arrojan diferencias menores que se encuentran entre los 35.12 y 55.53 mg/l CaCO₃, y los promedios por estación valores entre los 36.02 y 50.43 mg/l CaCO₃. En términos sanitarios los resultados obtenidos se encuentran dentro del valor deseado para el consumo humano pues la Resolución 2115 del 2007 establece un máximo de 200 mg/l CaCO₃.

De acuerdo a investigaciones limnológicas del alto Cauca, algunos ríos del Chocó, y la zona intermedia del Andén pacífico se estima que los valores de alcalinidad para los sistemas acuáticos continentales, son relativamente bajos, presentando valores hasta los 70 mg/l CaCO₃ (Vásquez, 2001). Los resultados obtenidos para la conductividad se acogen a este anunciado, pues el valor máximo fue de 64.84 Mg/l CaCO₃.

10.1.11 pH.

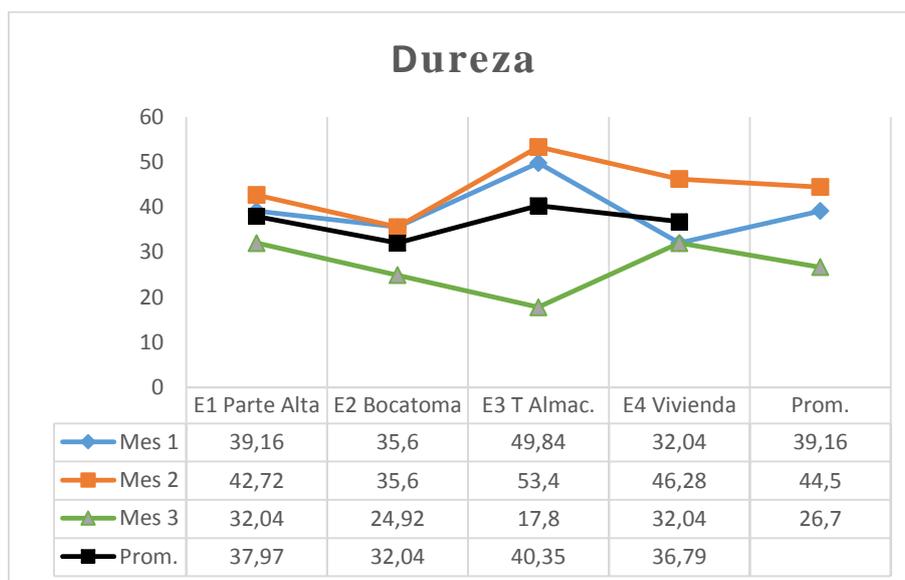


Grafica 12. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de pH. Fuente: elaboración propia.

Este parámetro realizado mediante el kit aquamerck arrojó datos muy equivalentes entre sí, el dato más representativo fue de 7.0 registrado en todas las estaciones a excepción de la estación 2 (bocatoma) en el segundo mes, el cual tuvo un valor de 6.5, siendo estos el valor máximo y mínimo registrados.

La Resolución 2115 del 2007 establece un rango entre 6.5-9.0 como valor óptimo para el agua de consumo humano, los resultados encontrados se ajustan al valor límite permitido por la legislación como garantía sanitaria. Estos valores se ajustan también a un pH fisiológicamente óptimo para el normal desarrollo de la biota acuática, comprendido entre 7.0-7.4 (Vásquez, 2001).

10.1.12 Dureza

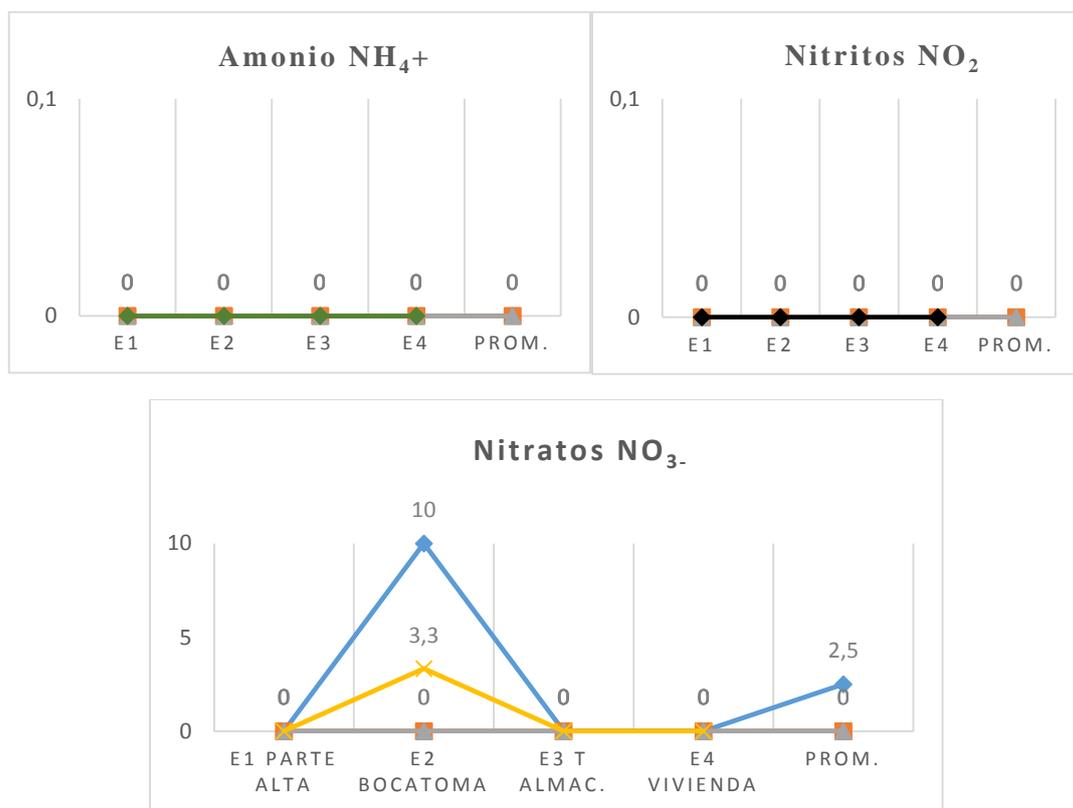


*Grafica 13. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de Dureza.
Fuente: elaboración propia.*

La dureza que se registró tuvo una variación entre 17.8 mg/l CaCO₃ en el tercer mes y 53.4 mg/l CaCO₃ en el segundo mes, ambos valores obtenidos en la E3 (tanque de almacenamiento). La grafica # muestran los valores promedio por estación los cuales oscilan entre 32.04 en la E2 y 40.34 mg/l CaCo₃ en la E3 y los valores promedio mensual los cuales fluctúan entre 26.75 mg CaCO₃ y 44.62 mg/l CaCO₃. De acuerdo con la Resolución 2115 del 2007 el valor máximo para su viabilidad sanitaria es de 300 mg/l CaCO₃, lo que indica que los valores registrados por mes y por estación se ajustan como valores óptimos del agua para el consumo humano.

Ohle (1934), propuso una categorización de las aguas con respecto al grado de productividad, valores menores a 10 mg/l se clasifican en aguas poco productivas, valores entre 10 y 25 mg/l en aguas medianamente productivas y valores por encima de 25 mg/l representan aguas muy productivas (citado en Roldan, 1992), en el presente estudio se clasifican dentro de aguas muy productivas, pues los resultados obtenidos se encuentra por encima de los 25 mg/l.

10.1.13 Amonio, Nitritos y Nitratos



Grafica 14. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de Amonio, Nitritos y Nitratos. Fuente: elaboración propia.

Mediante el método (colorimétrico) del kit aquamerck utilizado para la obtención de los valores de este nutriente se presentaron valores de 0 mg/l para el amonio y nitratos en cada una de las estaciones en los diferentes meses muestreados, por otro lado los nitratos registraron solo en la E2 (bocatoma) del primer mes de muestreo un valor de 10 mg/l y los restantes valores de 0 mg/l.

Entre tanto, Guerrero, Manjarrez y Nuñez (2003) encuentran para su estudio algunos parámetros fisicoquímicos y la estructura de macroinvertebrados, valores de amonio y nitritos de 0 mg/l. de acuerdo a este estudio un valor de 0 mg/l puede indicar: que el proceso para estabilizar la materia orgánica es deficiente o por el contrario que éste es eficiente y se concentra en forma de nitratos, o que la contaminación orgánica es mínima o inexistente.

Hay que tomar en cuenta que la quebrada Palestina no se ve intervenida directamente por vertimientos domésticos como las aguas residuales generadas en las viviendas o los generados por actividades agrícolas mediante el uso de fertilizantes y abonos que son grandes fuentes que aportan nitrógeno a los ecosistemas acuáticos, puesto que en la parte alta de la quebrada no

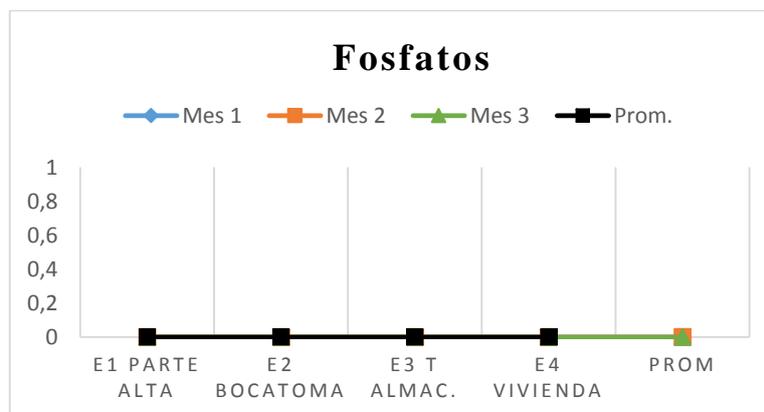
existen viviendas o fincas que generen cambios o alteraciones considerables en los valores de este nutriente.

Los valores de nitritos se encuentran en bajas concentraciones especialmente en aguas bien oxigenadas (Roldan, 1992). En el caso de la quebrada se presenta que entre la E1 y E2, se presentan lechos rocosos sumado a pendientes que permiten tener una corriente bien oxigenada y valores moderados. La presencia de este ion en altas concentraciones es muy tóxico y perjudicial para la salud, además la presencia de valores mayores a 0.05 mg/l pueden ser limitantes para el desarrollo y distribución de macroinvertebrados acuáticos (Vásquez, 2001).

En cuanto al amonio visto en términos de calidad, se encuentra en bajas concentraciones en medios aeróbicos, pero si hay descargas significativas el proceso de oxidación de este ion puede ser muy alto, causando mayor DBO y disminución en la concentración de oxígeno disuelto (Vásquez, 2001).

En términos generales los valores de nitrógeno en sus tres formas para este caso son muy bajos, siendo valores normales en quebradas de alta montaña, debido a que son cuerpos de agua que corren por lechos pobres en nutrientes y poco perturbadas por actividades humanas (Roldan, 1992), a manera de calidad para consumo humano ninguno de los valores sobrepasan los establecidos por la Resolución 2115 del 2007, en la que define una valor máximo de 0.1 mg/l para los Nitritos y de 10 mg/l para los Nitratos. Lo que indica que a modo sanitario, los resultados obtenidos se ajustan a la norma como valor deseado para el consumo.

10.1.14 Fosfatos.



Grafica 15. Valores registrados por cada estación y promedios mensuales de fosfatos.

Fuente:

Elaboración propia.

Mediante el método (colorimétrico) empleado los resultados obtenidos arrojaron valores de 0.0 mg/l en cada una de las estaciones muestreadas, la Resolución 2115 de 2007 determina un valor de 0.5 mg/ como máximo permitido para su viabilidad sanitaria. Esto indica que ninguno de los datos registrados sobrepasa el valor deseado y que bajo este parámetro la calidad del agua de la quebrada se considera óptima para el consumo humano. Los valores promedio los fosfatos en ecosistemas tropicales varían entre 0.001 y 0.002 mg/l, y la concentración en el agua aumenta a pH básicos y disminuyen a pH ácidos.

De igual manera al no estar intervenido por vertimientos domésticos o de cultivos aledaños, el valor de los fosfatos no se ve alterado por actividades agrícolas con el aporte de fertilizantes y abonos, o por los generados en las viviendas a partir de los jabones y detergentes que se convierte en las principales fuentes de contaminación por compuestos fosfatados (Lavie, et al, 2010).

n términos generales observando la estación 4 (vivienda) es la que presenta valores más bajos que van desde 0.6 mg/l a 1 mg/l lo que indica que estos sólidos disminuyen en cierta proporción al haber menor arrastre, pues se logra retener parte de estos sólidos en el desarenador, reduciendo en cierta medida la cantidad en el tanque de almacenamiento y por consiguiente hasta las viviendas.

10.2 Análisis bacteriológico

Mediante el análisis bacteriológico se determinó la presencia y ausencia de coliformes fecales y totales presentes en las cuatro estaciones muestreadas: parte alta (E1), bocatoma (E2), tanque de almacenamiento (E3) y una vivienda (E4) elegida aleatoriamente durante cada mes de muestreo.

Las muestras fueron tratadas en el laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán (FUP) en 2 meses y el otro mes fue realizado en el laboratorio del Acueducto de Popayán.



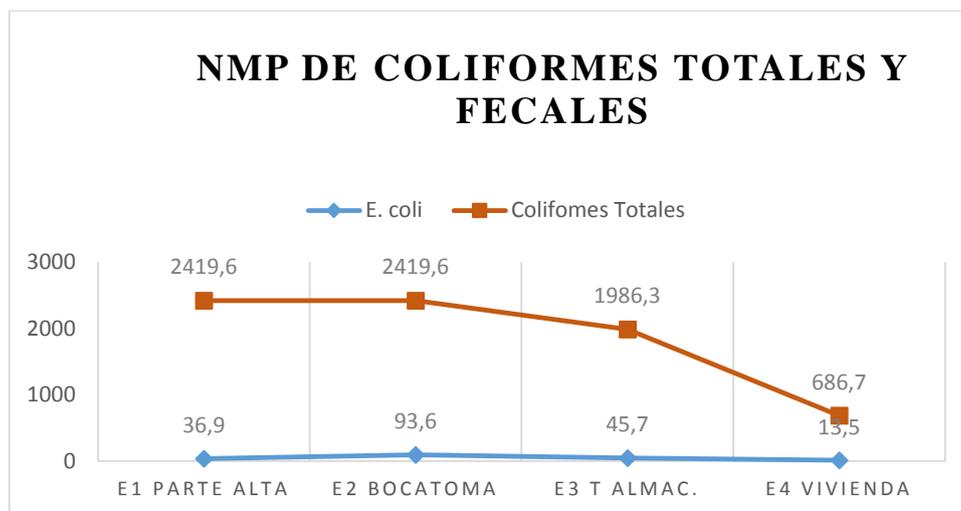
Imagen 4. Prueba presuntiva y confirmativa realizado en el laboratorio de la FUP

Para cada una de las muestras se realizó una prueba presuntiva y una prueba confirmativa, la primera consistió en la inoculación de caldo lactosado, utilizando nueve tubos divididos en tres grupos con proporciones de 10, 1, 0.1 ml de la muestra de agua. La segunda prueba consistió en el traspaso de la muestra en agar EMB en cajas de petri pasadas 24 horas.

En los procedimientos realizados en el laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán, los valores obtenidos como NMP evidencia la presencia de *E coli.*, para la estación la parte alta y estación la bocatoma en el mes 1, también la presencia en las cuatro estaciones de coliformes totales, el cual se deduce que hay presencia de estas bacterias, debido a que existe el lugar se caracteriza por tener pendientes y con esto un mayor arrastre de materia que pueda contener estas bacterias, especialmente el origen de materia fecal que se presenta debido a los terrenos limítrofes con el área de bosque y la quebrada, y que se convierte en un problema ... ya que este tipo de contaminación es crítica para la salud humana

En cuanto a los resultados obtenidos por el Laboratorio del Acueducto de Popayán, todos los valores registrados sobrepasan el valor deseado. El Decreto 1594 de 1984 establece que el valor ideal para Coliformes totales debe ser <1 NMP y para *E coli* <1 NMP, sin embargo establece un valor límite permisible de 20 NMP para Coliformes totales y de 2.0 NMP para *E. coli*.

De acuerdo con la gráfica 14., ninguno de los datos se ajusta a esta normativa, los cuales varían entre 686,7 y $<2419,6$ para coliformes totales y entre 13,5 y 93,3 NMP para *E. Coli*, indicando que la calidad del agua mediante el análisis microbiológico no es óptima para el consumo humano, indicando que el agua de la quebrada Palestina debe ser tratada mediante desinfección y cloración, con el fin de mejorar su calidad para el consumo de la población.



Grafica 16. Número más probable de coliformes totales y E. coli.. Fuente: Elaboración propia

10.3 Análisis biológico

10.3.1 Clasificación taxonómica en la estación 1 (parte alta)

Los individuos encontrados en la estación 1 (parte alta) suman un total de 92, con un 33.5 % del total registrados, distribuidos en 2 phylum, 3 clases, 9 órdenes, 11 familias y 11 géneros, y 3 subfamilias. Con respecto a la riqueza de géneros, el orden más representativo fue Trichoptera con cuatro géneros, seguido de Odonata y Coleoptera con tres géneros, Diptera con 2 géneros y 3 subfamilias, Hemiptera y Ephemeroptera con dos géneros (Tabla 9).

10.3.2 Clasificación taxonómica en la estación 2 (bocatoma)

Para esta estación se recolectó un total de 182 individuos con un 66.42% del total registrados, distribuidos en 9 órdenes, 18 familias y 21 géneros. Los órdenes más representativos para la estación 2, se registraron de igual modo que en la estación 1.

Si se compara el número de individuos colectados entre las estaciones, existe una diferencia de casi el doble de organismos colectados de más en la estación 2, el cual puede asemejarse a que en este punto, hay un mayor ingreso de materia orgánica debido al arrastre y la pendiente, además que esta estación (bocatoma) atrapa /acumula dicha materia en el fondo permitiendo encontrar un mayor número posible de organismos asociados.

Con respecto a la abundancia de los diferentes grupos presentes, se tienen que el orden Diptera registra un total de 87 individuos, seguido de Veneroida con 62 individuos y Hemiptera con 49

individuos, representando un 31.75 %, 22.62 % y 17.8 % respectivamente del total de organismos colectados.

En cuanto a los resultados encontrados para la fauna asociada en las dos estaciones muestreadas se encontraron grupos representantes de aguas limpias, pues algunos organismos como los trichopteros, coleópteros, ephemeropteros registrados en este estudio requieren de condiciones de aguas bien oxigenadas, temperaturas relativamente bajas y poca conductividad (Correa et al. 1982), condiciones que se asocian a los registros físico-químicos del estudio.

Sin embargo algunos grupos no son buenos indicadores de la calidad del agua, tal es el caso de la familia Chironomidae registrada en las dos estaciones, la cual incluye géneros que cubren todo tipo de ecosistemas acuáticos dulceacuícolas desde zonas de aguas muy limpias hasta zonas muy contaminadas, y familias como Guerridae y Velidae registradas en la estación 2 y que son organismos muy tolerantes a diferentes tipos de contaminación, aunque no puedan vivir si hay agentes tensoactivos que reduzcan la tensión superficial del agua, por estas razones no se les considera buenos indicadores de calidad de agua.

El uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua han cobrado cada vez más interés debido a que permite conocer las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos ya que estos organismos tienen unos límites de tolerancia a alteraciones que ocurren en un periodo de tiempo en función de la dinámica de las comunidades biológicas (Álvarez, 2005).

10.4 Índice de Riesgo de la Calidad del Agua

10.4.1 IRCA por muestra

Con respecto a la calificación de puntajes que asigna el IRCA, en los resultados obtenidos se encuentra que el componente microbiológico es el que aplicaría, pues son los valores de coliformes fecales y totales los que sobrepasan dichos valores.

E1 Parte alta:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{15+25}{15+1.5+1+1+1+1+3+15+25} \times 100 = \frac{40}{63.5} = 62.9$$

E2 Bocatoma:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{15+25}{15+1.5+1+1+1+1+3+15+25} \times 100 = \frac{40}{63.5} = 62.9$$

3 Tanque de almacenamiento:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{15+25}{15+1.5+1+1+1+1+3+15+25} \times 100 = \frac{40}{63.5} = 62.9$$

E4 Vivienda:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{15+25}{15+1.5+1+1+1+1+3+15+25} \times 100 = \frac{40}{63.5} = 62.9$$

Para cada una de las estaciones muestreadas se presentó que los resultados de *E. coli* y coliformes totales, son los que sobrepasan los valores máximos permitidos para uso de consumo humano. Los resultados arroja valores de 62.9 para cada estación, haciendo comparación con la tabla de puntajes según la calificación que establece el IRCA los valores se encuentran en un rango entre 35.1-80 con un nivel de riesgo ALTO, lo que indica condiciones del agua no aptas para el consumo humano.

10.4.2 IRCA Mensual**Mes 1:**

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{62.9+62.9+62.9+62.9}{4} = 62.9$$

Mes 2:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{62.9+62.9+62.9+62.9}{4} = 62.9$$

Mes 3:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{62.9+62.9+62.9+62.9}{4} = 62.9$$

De igual manera los resultados para el porcentaje % del IRCA mensual se encuentran en los rangos 35.1-80 siendo un nivel de riesgo Alto, teniendo que su viabilidad no es apta para el consumo humano debido a que las condiciones del agua, específicamente la parte microbiológica sobrepasa los valores límites deseados en cada muestra.

Con respecto al estudio sobre el estado de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en el año 2015 el índice de riesgo para el Municipio de la Vega, presentó un nivel de riesgo Alto. En cuanto al estudio en el año 2016 arroja que las muestras analizadas para el municipio presentan un nivel de riesgo inviable sanitariamente. (INS, 2016).

Lo anterior corrobora a cerca de las situaciones que enfrentan las personas especialmente en las zonas rurales para la obtención del recurso, puesto que emplean fuentes hídricas sin un debido tratamiento y que su viabilidad no es la indicada ya que los riesgos para su aprovechamiento son altos.

10.5 Índices de Contaminación

Tabla 11. Índices de contaminación ICO para los tres meses de muestreo. Fuente: elaboración propia.

	MES 1	MES 2	MES3
ICOMI	0.095	0.071	0.046
ICOMO	0	0	0
ICOSUS	0.03	0.04	0
ICOTRO	0	0	0
Prom ICOs	0.031	0.027	0.0115

Tabla 12. Índices de contaminación ICO para las estaciones muestreadas. Fuente: elaboración propia

	ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 2	ESTACION 3	ESTACION 4
ICOMI	0.067	0.08	0.066	0.065

ICOMO	0.15	0.15	0.13	0.063
ICOSUS	0.080	0.089	0.017	0
ICOTRO	0	0	0	0
Prom ICOs	0.074	0.079	0.053	0.032

Tabla 13. Significado de los índices de contaminación (ICO). Fuente: Ramírez, Restrepo y Cardeñosa, 1999).

ICO	Contaminación	Significado	Color
0-0,2	Ninguna	Aguas muy limpias a limpias	
>0,2-0,4	Baja	Aguas ligeramente contaminadas	
>0,4-0,6	Media	Aguas moderadamente contaminadas	
>0,6-0,8	Alta	Aguas muy contaminadas	
>0,8-1	Muy alta	Aguas fuertemente contaminadas	

10.5.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

El resultado para el índice de contaminación presenta valores por debajo de 0.1, lo que indica que el grado de contaminación por mineralización para las estaciones es bajo, dando como significado de Aguas muy limpias a limpias.

10.5.2 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

El resultado obtenido como indicador de contaminación por materia orgánica, arroja valores no mayores a 0.15, marcando una pequeña diferencia entre los valores por estaciones, debido a los registros de coliformes totales que registraron un número mayor entre las dos primeras estaciones (tabla 11). Mediante el valor de contaminación propuesto por (Ramírez, et. Al 199) (tabla 12), se podría considerar que la contaminación por materia orgánica es baja, sin embargo los valores registrados para coliformes totales sobrepasan los límites deseados, ocasionando un alto grado de contaminación del agua, siendo inviable su aprovechamiento para el consumo humano.

10.5.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Al tomarse en cuenta como único parámetro los sólidos suspendidos el valor que se obtienen como índice arrojó valores menores a 0.1, indicando un bajo grado de contaminación por sólidos suspendidos.

10.5.4 Índice de contaminación trófico (ICOTRO)

El valor de este índice depende de la cantidad de fósforo total, de acuerdo al método empleado los valores obtenidos para fosfatos son de 0 mg/l, indicando características de un sistema oligotrófico, tomando en cuenta que la quebrada nace en la parte alta de la vereda y que desde el punto de captación hacia arriba no hay casas que generen vertimientos por el uso de jabones y detergentes o fincas con cultivos que demandan el uso de abonos y fertilizantes, generando residuos agrícolas los cuales se convierten en las principales causas de contaminación por fosfatos en los cuerpos de agua naturales (Lavie *et al.* 2010).

10.5.5 Índice de Contaminación ICOs

El promedio de los cuatro índices anteriormente mencionados arrojan un valor que define aguas muy limpias a limpias, pues los valores registrados tanto por estación como mes no sobrepasan los 0.2, teniendo un bajo grado de contaminación, sin embargo mediante el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), se descarta alguna forma de aprovechamiento directo del recurso pues los valores de coliformes registrados son elevados, ocasionando la insalubridad del agua

10.6 Índice BMWP

Tabla 14. Puntajes BMWP/Col para las familias encontradas en las estaciones: Parte alta y Bocatoma.

FAMILIA	INDICE BMWP	
	E1 (Parte alta)	E2 (Bocatoma)
Leptoceridae	8	8
Hydropsychidae	8	8
Odontoceridae	-	10
Calamoceratidae		10
Elmidae	7	7
Ptilodactylidae	10	10
Libellulidae	-	6
Gomphidae	9	9
Polythoridae	-	10

Tricorythidae	7	7
Leptophlebiidae	9	9
Corydalidae	6	6
Guerridae	-	8
Velidae	-	8
Tipulidae	4	4
Chironomidae	2	2
Sphaeridae	4	4
ΣBMWP	74	126
Rango BMWP/Col	61-100	<121
Clase	III	I
Calidad	Aceptable	Muy Buena
Significado	Aguas ligeramente contaminadas	Aguas muy limpias a limpias
Color		

Fuente: elaboración propia.

La calidad del agua para la estación 1 (parte alta) mediante el índice BMWP/Col la clasifica dentro de la clase II, en un rango (61-100), con una calidad aceptable y con características de aguas ligeramente contaminadas. La estación 2 (bocatoma) se clasifica dentro de la clase I, encontrándose en un rango (>150, 101-120), presentando una calidad buena y con características de aguas muy limpias a limpias.

En términos generales de la calidad biológica del agua de la quebrada Palestina mediante el BMWP para las dos estaciones muestreadas, establece que son aguas ligeramente contaminadas a aguas muy limpias a limpias.

10.7 Índices de diversidad

Tabla 15. *Índices de diversidad, para las estaciones: Parte alta y Bocatoma*

INDICE DE DIVERSIDAD	E1 Parte alta	E2 Bocatoma
Riqueza de géneros	14	21
Abundancia	92	182
Índice de Shannon - Wiener (H')	2.26	2.4
Índice de Simpson (λ)	0.86	0.87
Índice de Margalef	2.87	3.84

10.7.1 Índice de Shannon – Wiener

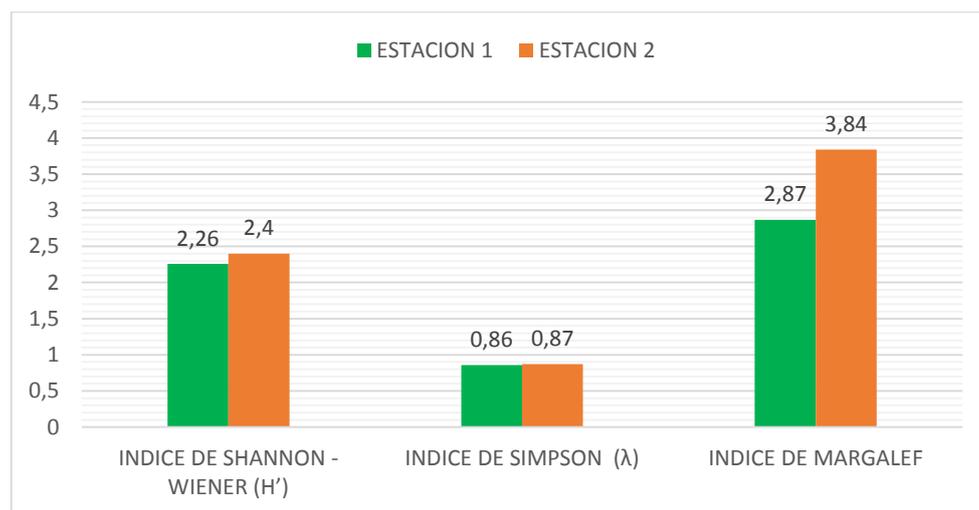
Shannon y Wiener (1949) establece que valores entre: 0.0-1.5 presentan bajas diversidad; 1.6-3.0 mediana diversidad y de 3.1-5.0 alta diversidad (Citado en Chilito, 2015). A partir del resultado obtenido en la ecuación el índice de Shannon arrojó un valor de 2.26 para la estación 1 y un valor 2.4 para la estación 2. Lo que indica que las estaciones muestreadas presentan una mediana diversidad.

10.7.2 Índice de Simpson

En cuanto al índice de Simpson la diversidad disminuye si el resultado del índice se incrementa, en el caso de la estación 1 tuvo un valor de 0.86 y de 0.87 para la estación 2. El rango de este índice va de 0.0-1.0, por lo tanto entre más aumente el valor a 1, la diversidad disminuye, Pielou, (1969) (citado en Orellana, 2009), lo que indica que existe una dominancia de especies puesto que el valor es cercano a 1.0, haciendo que disminuya la diversidad.

10.7.3 Índice de Margalef

Según Margalef (1998) establece que valores menores a 2 están relacionados con zonas de baja diversidad y valores superiores a 5 indican alta diversidad (Citado en Inti y Rocha, 2012), lo que se podría considerar que las dos estaciones muestreadas presentan una diversidad mediana, pues lo valores para el índice fueron de 2.87 y 3.84 en la estación 1 y 2 respectivamente (grafica 17).



Grafica 17. Índice de Simpson (λ), Shannon - Wiener (H') y Margalef para las estaciones 1 y 2.

11. CONCLUSIONES

En su totalidad los parámetros físico-químicos evaluados se encuentran dentro de los rangos permitidos por la Resolución 2115 de 2007 la cual reglamenta los valores máximos permisibles como criterio para el consumo humano, haciendo viable el aprovechamiento en cuanto a la calidad físico-química. Sin embargo los resultados microbiológicos obtenidos tanto en el Laboratorio de Ciencias Naturales de la Fundación Universitaria de Popayán como los obtenidos en el Laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, reflejan resultados que sobrepasan los valores deseados para su aprovechamiento, haciendo que el recurso no sea ideal para su aprovechamiento

El índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) arrojó un nivel de riesgo ALTO en cada una de las estaciones, lo cual hace que el agua no sea apta para el consumo humano. Para este caso los datos microbiológicos fueron los que sobrepasaron los valores ideales y los que aplicaron como indicadores de riesgo, pues son los coliformes fecales y totales a los que se les asigna un puntaje mayor, debido a su implicación sobre la salud, y por lo tanto son los que causan que el agua que abastece a la vereda de Guayabo Negro no sea viable para el consumo.

Los índices de contaminación (ICOs) arrojaron valores bajos o cercanos a cero, debido a los resultados obtenidos de algunos parámetros los cuales no tuvieron valores considerables durante los muestreos, y por lo tanto no reflejaron un índice alto, mediante estos datos se consideraría que la contaminación por mineralización (ICOMI), por materia orgánica (ICOMO), por sólidos suspendidos (ICOSUS) y por contaminación trófico (ICOTRO), es baja debido a los valores obtenidos para cada índice (tabla 10 y 11). Sin embargo los valores obtenidos para coliformes totales y fecales sobrepasan muy por encima de lo permitido, ocasionando problemas graves de contaminación.

Los valores obtenidos para el BMWP/Col, como indicadores biológicos (MAE), para las dos estaciones muestreadas refleja un ecosistema con características de aguas ligeramente contaminadas a aguas muy limpias a limpias, considerando que biológicamente son aguas muy buenas.

Los tensores ambientales que intervienen en el área de estudio tales como la ganadería y la tala de árboles, son los factores o actividades antrópicas que afectan la dinámica del ecosistema, incidiendo en la disponibilidad de la oferta hídrica, en el deterioro del ecosistema y en la

alteración de las condiciones óptimas del agua, pues si se toma en cuenta la calidad del recurso se ve afectado especialmente por la ganadería, debido a que son los valores microbiológicos los que sobrepasan los valores máximos aceptables para ser criterio de consumo humano.

Mediante los resultados de algunos parámetros e índices evaluados el agua de la quebrada Palestina no es óptima para el consumo humano, debido a que no cumple con los criterios de evaluación que establece la ley como valores ideales para su aprovechamiento, dado que el sistema de infraestructura y tratamiento no es el indicado y las actividades como la ganadería impiden que las condiciones del recurso sean las mejores. El problema que se presenta para los habitantes de la vereda Guayabo Negro es el riesgo de alguna enfermedad por la insalubridad del agua especialmente en la parte microbiológica, debido a que la población es la que se beneficia y aprovecha el recurso directamente, específicamente de uso para consumo.

12. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar de manera inmediata un sistema de tratamiento del agua, mediante procesos de desinfección y cloración, con el fin de disminuir la cantidad de microorganismos y agentes patógenos que ingresan al cuerpo de agua, buscando minimizar los riesgos que pueden presentarse por el consumo de agua contaminada.

Es importante que la vereda de Guayabo Negro y zonas rurales en general tengan una organización comunitaria, con el fin de que los habitantes se organicen y busquen soluciones a las problemáticas que se presentan en su población, encaminando ideas que junto con las entidades ambientales competentes, faciliten la gestión de recursos necesarios para la construcción e infraestructura de un acueducto idóneo y tratamiento especial para que los habitantes de la vereda Guayabo Negro puedan hacer uso de un sistema apropiado, teniendo como derecho fundamental el acceso al agua potable

Se recomienda realizar más estudios de este tipo en el Municipio y en su jurisdicción, con el fin conocer la calidad y viabilidad del agua para el consumo, pues la ausencia de tratamientos y sistemas de potabilización especialmente en zonas rurales, hacen que estas fuentes no sean seguras para su aprovechamiento, ya que son aguas crudas y en ausencia de un saneamiento o en el desconocimiento de su calidad las hace inviable sanitariamente. Además es importante realizar estudios acerca de la factibilidad de la fuente de abastecimiento de la población, con el fin de conocer la sostenibilidad en el tiempo.

Es de vital importancia proteger las áreas de bosque que rodean la quebrada, pues bien el decreto 1449 de 1977 establece un margen mínimo de 30 metros a cada lado con el objetivo de evitar cambios en la regulación del caudal, control de la erosión, al igual que la protección de la fauna asociada al lugar. Pues el área de bosque de la quebrada se ha visto afectada por la tala de árboles y sobre todo por la ganadería que invade estos espacios que deberían ser poco o nada intervenidos por dichas actividades.

Se recomienda realizar labores de limpieza y desinfección de la red de distribución (Bocatoma, tanque desarenador, tanque de almacenamiento) por parte del personal encargado del acueducto de la Vereda Guayabo Negro como mínimo una vez por trimestre, y de este modo mantener condiciones apropiadas para el uso y aprovechamiento del recurso.

Es importante que mediante la organización comunitaria se promuevan acciones en las que participe la población por medio de talleres y charlas donde se den a conocer los riesgos que se pueden presentar si se consume aguas contaminadas, además de capacitaciones educativas sobre la importancia del recurso hídrico y las acciones o medidas que las personas puede realizar con el fin de conservar y proteger este recurso de gran importancia para las necesidades básicas de las poblaciones y la vida en general.

Otra forma de organización de la comunidad sería la creación de una veeduría comunitaria, en el que permita junto a entidades ambientales y autoridades competentes se aplique un sistema de control y vigilancia de las fuentes hídricas que abastecen los acueductos en zonas rurales, con el fin de determinar las condiciones sanitarias del recurso para que la población esté más segura al momento de su aprovechamiento, además de conocer a cerca de las condiciones ecológicas en las que se encuentra el recurso hídrico, como estrategia de proteger y conservar estos ecosistemas.

Por motivos de ausencias, negligencias y factores de intereses culturales, sociales y políticos, no se cumplen con los propósitos que deben encaminarse para satisfacer las necesidades reales de las personas, como es tener un sistema básico de agua potable en las zonas rurales, por lo tanto es importante que mediante la participación de la comunidad se presente una iniciativa de propuesta previa al plan de desarrollo del municipio, con el fin de que se le preste un mayor interés y pueda darse una inversión en mejoramientos de control y prestaciones de un buen servicio para la población.

13. BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía Municipal de La Vega Cauca - Corporación Autónoma Regional del Cauca. (2002). *Esquema de Ordenamiento Territorial La Vega Cauca 2002*. Recuperado de <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/lavega/DIAGNOSTICO%20FINAL.pdf>
- Álvarez, L. (2005). *Metodología para la utilización de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/20.500.11761/31357/1/05-0424PS.pdf>
- Atlas, R. M y Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Madrid, España. Pearson, 4ª edición
- Ávila Jiménez, C (2015, 24 de marzo) *¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?* El Tiempo. Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-en-colombia-/15445939>
- Chara, J. (2003). *Manual para la Evaluación Biológica de Ambientes Acuáticos en Microcuencas Ganaderas*. Cali, Colombia. Editorial.
- Chilito, L. (2015). *Distribución y Abundancia de líquenes corticícolas bajo influencia de condiciones microclimáticas en el Jardín Botánico de Popayán, Departamento del Cauca* (tesis de pregrado). Fundación universitaria de Popayán, Popayán, Colombia.
- Constitución Política de Colombia, 1991.
- Correa, M., Machado, T. y Roldan G. (1981). *Taxonomía y Ecología del Orden Trichoptera en el Departamento de Antioquía en diferentes pisos altitudinales*. *Actualidades Biológicas*, 10 (36), 35-48
- Forero, A., Reinoso G. y Gutiérrez C. (2009). Evaluación de la Calidad del Agua del Río Opía (Tolima-Colombia) Mediante Macroinvertebrados Acuáticos y Parámetros Físico-Químicos. *Caldasia*, 35(2), 371-387.
- Guerrero, F., Manjarrez, A. y Nuñez N. (2003). Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 43-55.

- Gómez, A., Naranjo, D., Martínez, A. y Gallego D. (2004). Calidad del Agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado (Girardota – Antioquía, Colombia). *Revista Facultad Nacional de agronomía Medellín*, 60 (1) 3735-3749.
- Instituto de Hidrobiología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2007). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Sólidos suspendidos Totales en Agua secados a 103-105 °C*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- Instituto Nacional de Salud, Grupo Salud Ambiental (2016). *Estado de la Vigilancia de la calidad de agua para consumo Humano - 2015*. Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado de: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2016%20Estado%20de%20la%20vigilancia%20de%20la%20calidad%20del%20agua%202015.pdf>
- Instituto Nacional de Salud. (2011). *Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio*. (). Recuperado de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- Kemmer, F., Callion, J. y Nalco Chemical (1979). *Manual del Agua. Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones*. México: Ed. Mc Graw Hill Latinoamericana.a
- Lavie, E., Morábito, J., Salatino, S., Bermejillo, A., & Filippini, M. (2010). Contaminación por fosfatos en el oasis bajo del río Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias agrarias*, 42(1), 169-184.
- Marín, R. (2003). *Físico-Química y Microbiología de los Medios Acuáticos: tratamiento y control de la calidad de aguas*. Madrid, España: Ed Díaz de Santos.
- Matthias, U. y Moreno, H. (1983). Estudio de algunos parámetros físico químicos y biológicos en el río Medellín y sus principales afluentes. *Actualidades Biológicas*, 12(46), 106-117.
- Ministerio de Agricultura (2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras

- disposiciones. (Decreto No. 3930) Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf
- Ministerio de Agricultura. (1977). Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la 135 de 1961 y el Decreto Ley No. 2811 de 1974. (Decreto No. 1449). Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/35-dec_1449_1977.pdf
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. (Resolución No. 1096) Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/1096%20-%202000.pdf>
- Ministerio de la Protección Social – Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Por medio de la cual se señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. (Resolución No. 2115) Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf
- Ministerio de la Protección Social (2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y control de la Calidad del Agua para Consumo humano. (Decreto No. 1575). Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Ministerio de Salud. (1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al medio ambiente. (Decreto No. 2811) Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf
- Ministerio de Salud. (1998). Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua. (Decreto No. 475) Recuperado de https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%200475%20DE%201998.PDF
- MORENO C. E. (2001) Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84 pp.

- Normas APA, American Psychological Association (2010). Manual de Publicaciones de la American Psychological Association (6 ed.).
- Orellana, J. (2009). *Determinación de Índices de diversidad Florística Arbórea en las parcelas permanentes de muestreo de del valle de sacta* (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Organización Mundial de la Salud OMS. (2015). *Agua* (nota descriptiva N°391). Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- Organización Panamericana de la Salud (2008). *ORIENTACIONES SOBRE AGUA Y SANEAMIENTO PARA ZONAS RURALES. Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldes y alcaldesas de municipios rurales y pequeñas comunidades*. Recuperado de:
http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d21/019_SER_OrientacionesA&Szonasrurales/Orientaciones%20sobre%20A&S%20para%20zonas%20rurales.pdf
- Pérez, R. y Roldan, G. (1978). Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del río Rionegro. *Actualidades Biológicas* 7(24), 27-36.
- Paloma, I. y Rocha, C. (2012). Estado de Conservación y cobertura vegetal de la vereda Busaga (Iza – Boyacá). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10(2), 9-18.
- Ramírez, A., Restrepo, R. y Cardeñosa M. (1999). Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales y Vertimientos. *Formulaciones. Ciencia, Tecnología y Futuro* 1(5).
- Ramírez, A. y Viña, G. (1998). *Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Bogotá, Colombia. BP Exploración Company (Colombia) Ltd.
- Ramírez, A., Restrepo R. y M, Cardeñosa. (1999). Índices de contaminación para Caracterización de aguas continentales y Vertimientos. *Formulaciones. Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-100.
- Ramírez, A., Restrepo, R. y Viña, G. (1997). Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. *Formulaciones y aplicación. Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1 (3), 135-153.

- Roldan, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Medellín, Colombia: Pama Editores Ltda.
- Roldan, G. (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín, Colombia. Ed Universidad de Antioquia.
- Roldan, G., Builes, J., Trujillo, M. y Suarez, A. (1973). Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. *Actualidades Biológicas*, 2(5), 54-64.
- Salazar, J. (1978). Contaminación de corrientes de agua. Medellín, Colombia: Ed. Universidad de Antioquia.
- Sanz, G., Vásquez, G. y Zamora H. (1998). Estudio de Recursos Hidrobiológicos del Andén Pacifico Caucano, I Fase. Popayán, Colombia: -----
- Vasquez, G. (2001). Evaluación de la Calidad de las Aguas Naturales. Significado y alcances en la determinación y análisis físico-químicos y biológicos fundamentales. Popayán, Colombia: Ed. Universidad del Cauca.
- Vásquez, G. L., (2002). Calidad de las aguas naturales en relación con el régimen del caudal ambiental. En J. R. Cantera, Y. Carvajal y L. M. Castro (Ed.), *Caudal ambiental, conceptos experiencias y desafíos* (pp. 137-166). Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. y Umaña, A. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Wetzel, R. (1981). *Limnología 4ª edición*. Barcelona, España: Omega
- Zamora, H. (2000). Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de aguas epicontinentales en Colombia. Universidad del Cauca. *Ciencia*, (4), 47-59.
- Zúñiga, M. y Cardona W. Bioindicadores de Calidad de Agua y Caudal ambiental. En J. R. Cantera, Y. Carvajal y L. M. Castro (Ed.), *Caudal ambiental, conceptos experiencias y desafíos* (pp. 167-198). Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle.

ANEXOS

Macroinvertebrados acuáticos

